



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# **ŘÍZENÍ ODTOKU VODY Z VYBRANÉ NÁDRŽE POMOCÍ OPTIMALIZAČNÍHO MODELU**

CONTROL WATER OUTFLOW OF SELECTED RESERVOIR FOR USING OPTIMIZATION MODEL

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MARTIN SOBEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PAVEL MENŠÍK, Ph.D.**

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Martin Sobek
<b>Název</b>	Řízení odtoku vody z vybrané nádrže pomocí optimalizačního modelu
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

1. Menšík, P.; Starý, M. SOMVS - Simulační a optimalizační model vodohospodářské soustavy. (software)
2. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01). Brno: VUT, 2006. 120 s.
3. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02). Brno: VUT, 2006. 117 s.
4. Starý, M.; Šálek, J.; Kožnárek, Z.; Šoustal, O. Automatizované systémy řízení ve vodním hospodářství. Metodické návody do cvičení a diplomového semináře. 1. vyd. Brno: VUT, 1987. 126 s.
5. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Metodické návody do cvičení. 1. vyd. Brno: VUT, 1987. 67 s.
6. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. 1. vyd. Brno: VUT, 1986. 165 s.

## **Zásady pro vypracování**

Úkolem bakalářské práce bude s použitím programu SOMVS vytvořit optimalizační model vybrané nádrže. Programem sestavený optimalizační model umožní nalézt optimální odtok vody z nádrže. Funkčnost optimalizačního modelu bude vhodně ověřena na vybraném období. Vytvořený optimalizační model bude možno při znalosti předpovězených průměrných měsíčních průtoků použít pro operativní řízení odtoku vody z nádrže.

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na řízení vybrané nádrže pomocí optimalizačního modelu. Výpočet je proveden v programu SOMVS. Funkčnost optimalizačního modelu je ověřena na vybraném hydrologickém roce. Při řešení je uplatněn princip adaptivního řízení.

**Klíčová slova**

nádrž, optimalizační model, simulace, vodohospodářská soustava

**Abstract**

The bachelor's thesis is focused on the control of selected reservoir optimization model. The calculation is made by program SOMVS. The functionality of the optimization model is verified on the selected from a number of real average monthly flows. When the solution is applied the principle of adaptive control.

**Keywords**

reservoir, optimization model, simulation, water management system

### **Bibliografická citace VŠKP**

Martin Sobek *Řízení odtoku vody z vybrané nádrže pomocí optimalizačního modelu*. Brno, 2014. 58 s., 0 s. příl. bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30.5.2014

.....  
podpis autora  
Martin Sobek

#### Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Pavlu Menšíkovi, Ph.D., za jeho vstřícnost, odborné vedení a mnoho cenných rad, připomínek a námětů. Dále bych rád poděkoval svým rodičům, za jejich podporu a trpělivost při celém mém studiu.

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce .....	4
3. Metody řešení .....	5
3.1 Matematický model zásobní funkce .....	5
3.2 Metody řešení formulované úlohy .....	8
3.2.1 Diferenciální evoluce .....	8
3.3 Program SOMVS .....	9
3.4 Způsoby řízení zásobní funkce .....	9
3.4.1 Řízení na nalepšený odtok .....	10
3.4.2 Adaptivní simulační model s optimalizačním řízením .....	10
4. Praktická aplikace .....	11
4.1 Výběr průtokových řad .....	11
4.2 Simulační model – Analýza řízení na nalepšený odtok .....	14
4.2.1 Analýza řízení pro období 1933,1934 .....	15
4.2.2 Analýza řízení pro období 1973,1974 .....	16
4.2.3 Analýza řízení pro období 1990,1991 .....	18
4.3 Schematizace izolované nádrže .....	20
4.4 Řídící rovnice .....	21
4.5 Nastavení programu .....	22
4.6 Výsledky .....	28
4.6.1 Výsledky pro období 1933,1934 .....	30
4.6.2 Výsledky pro období 1972,1973 .....	35
4.6.3 Výsledky pro období 1990,1991 .....	40
5. Shrnutí výsledků .....	45
6. Závěr .....	47
7. Seznam použitých zdrojů .....	48
8. Seznam použitých obrázků .....	49
9. Seznam použitých tabulek .....	50



## 1. Úvod

Vodní hospodářství se rozvíjí v měnícím se světě s ekonomickými, ekologickými, technologickými, kulturními a jinými změnami, jejichž důsledky lze v souhrnu jen obtížně předvídat. Z toho vyplývá nutnost pochopit základní posuny v tomto světě a řešit vodohospodářské problémy v podmínkách nových paradigmat, tj. nových základních postojů jednotlivců i společnosti (Patera, 1996).

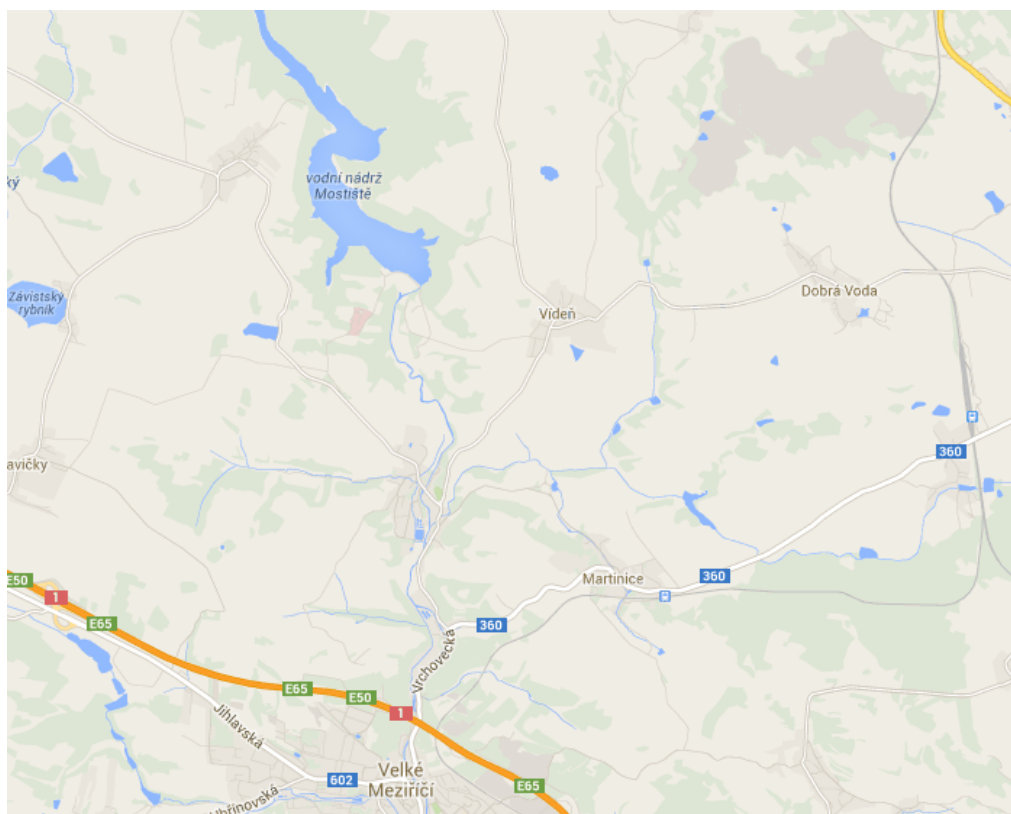
V současnosti se velké nádrže řídí pomocí manipulačních řádů, které vycházejí z dispečerských grafů. Tyto grafy využívají zkušenosti z průběhů průtoků v minulých letech. Případně lze pro řízení využívat zjednodušená pravidla. Další možnost, jak řídit odtok z nádrže je pomocí automatického řízení, které je založeno na optimalizačním modelu. Optimalizační model umožňuje na základě předpovědi řídit odtok jak z izolované nádrže, tak i z nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy. Při současných klimatických změnách je kladen větší důraz na práci s předpověďmi. S trendem poklesu srážek dochází i ke snížení průtoků v korytech řek. Hlavně z tohoto důvodu je nutné efektivněji nakládat s průtoky.

Pro aplikaci řízení odtoku vody z nádrže pomocí optimalizačního modelu je vybrána nádrž Mostišť ležící na horním toku řeky Oslavy – viz obr. 1.



*Obr. 1 - Nádrž Mostiště ([www.obecnetin.cz](http://www.obecnetin.cz)).*

Vodní dílo je situováno v kraji Vysočina, konkrétně v okrese Žďár nad Sázavou. Spadá pod obec s rozšířenou působností Velké Meziříčí a pod obec Vídeň. Nachází se v katastrálním území Vídeň – viz obr. 2.



**Obr. 2 - Vodní nádrž Mostiště ([www.google.cz/maps](http://www.google.cz/maps)).**

Výstavba tohoto díla je spojována převážně s potřebou ochránit obyvatele a majetek před velkou vodou. Povodně pustošily dotčené území převážně na přelomu 19. a 20. století. Finálním impulsem pro zahájení výstavby nádrže potom byla povodeň v roce 1902, která způsobila velké škody. Projekt se chystal již na počátku 19. století, ovšem kvůli první a druhé světové válce byly přípravy na nějakou dobu přerušeny. Ještě před druhou světovou válkou, v průběhu 30. let, byl proveden geologický průzkum, zaměření terénu a došlo i k začátku výstavby příjezdové komunikace. K samotné stavbě vodního díla došlo až v roce 1957. K prvotnímu účelu vybudování nádrže, tedy k ochraně obyvatelstva před velkými vodami, byly doplněny ještě další funkce, které měla nádrž splňovat. Byl to požadavek na akumulaci, dodávku vody pro úpravnu skupinového vodovodu Velké Meziříčí – Třebíč a v neposlední řadě také k nalepšení průtoků v řece Oslavě pro provoz elektrárny v Oslavanech. Přehrada byla dostavěna v roce 1961 a do provozu byla uvedena v roce 1964. Na svou dobu se jednalo o odvážný projekt. Hráz je totiž štíhlá vzhledem k množství vody, které zadržuje. V patě je široká 105 metrů a v koruně pouhých 5,8 metru. V roce 2005 byly zjištěny vznikající poruchy v těsnicím jádru hráze a byla zahájena rozsáhlá oprava tělesa. V první etapě došlo k tryskové injektáži. Tato část oprav byla dokončena v listopadu roku 2005. Jednalo se o velice rozsáhlou sanaci těsnicího jádra vodního díla, která nebyla doposud v Evropě prováděna. Součástí první fáze bylo také vybavení hráze zařízením technicko-bezpečnostního dohledu. V další etapě oprav, tedy druhé, došlo k vybudování nového systému bodů pro měření vertikálních a horizontálních posunů v koruně hráze. Dále byly zapojeny kabely a bylo zajištěno automatické sledování úrovně hladiny podzemní vody. Dále došlo k rekonstrukci koruny hráze v celé délce přemostění bezpečnostního přelivu. Obě fáze oprav byly dokončeny v listopadu roku 2006.

V dnešní době slouží nádrž k výrobě elektrické energie ve vodní elektrárně Mostiště, ke snížení povodňových průtoků, vodárenskému odběru a k zajištění minimálního průtoku.

Jedná se o sypanou přehradní hráz kamenitou se štíhlým zemním těsněním. Hráz má návodní zemní těsnění ze zhutněných sprašových hlín, které je založeno na skalním podkladu injekční chodbou. Materiál, který sloužil v k výstavbě hráze, pochází z kamenolomu, který se nacházel přímo v prostoru zátopy. Vzdušní i návodní líc jsou obloženy kamenným zdivem. Půdorysné řešení hráze je asymetrické. V levé části je osa hráze přímá, zatímco v pravé části je tvořena obloukem o poloměru 150 m. Na koruně hráze se nachází komunikace. Zařízení sloužící k manipulaci s vodou se skládá z několika samostatných objektů, které jsou umístěny při levém břehu nádrže. Boční bezpečnostní přeliv má délku hrany 54 m a kapacitu převedení dosahující hodnoty až 108 m<sup>3</sup> vody za sekundu. Tento objekt se nachází na pravém břehu nádrže a voda je jím odváděna do odpadního koryta obloženého žulovou dlažbou. Objekt bezpečnostního přelivu byl v 80. letech 20. století upraven, aby byl schopen převést větší průtoky.

V tomto odstavci budou zmíněny technické parametry nádrže. Správcem je Povodí Moravy. Vodní dílo se nachází na řece Oslavě, jak již bylo řečeno, konkrétně pak na 65,95 km. V tab. 1 jsou uvedeny objemy zásobních prostorů a kóty jednotlivých hladin. Celkový objem nádrže je 11,937 mil. m<sup>3</sup>.

*Tab. 1 - Informace VD Mostiště.*

Název prostoru	Objem [mil. m <sup>3</sup> ]	Hladina [m n. m.]
Stálé nadržení	1,045	458,60
Zásobní prostor	9,339	476,90
Retenční ovladatelný	0,609	477,60
Retenční neovladatelný	0,944	478,64

Jedná se o hráz sypanou, kamenitou, která má návodní sprašové těsnění. Kóta koruny se nachází ve výšce 479,85 metrů nad mořem. Šířka koruny je 5,80 m a vede přes ni komunikace. Hráz měří v koruně 292 metrů a výška hráze nade dnem nádrže je 28,7 metrů. Vodní dílo má jednu spodní výpusť a to konkrétně o průměru 1,1 metru, na které je usazen rozstřikovací provozní uzávěr. Kapacita průtoku při maximální hladině je 18 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Na hrázi je usazen boční nehrazený bezpečnostní přeliv o délce 55,3 metrů. Kóta přelivu je 477,60 metrů nad mořem. Kapacitní průtok přes boční přeliv je 125 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> při maximální hladině. Nachází se zde i vodní elektrárna s jednou Kaplanovou vertikální turbínou. Výkon elektrárny je 0,4 MW, hltnost potom 1,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Elektrárnu provozuje Energo-pro Czech, s.r.o.

Plocha povodí je 222, 94 km<sup>2</sup>. Průměrný dlouhodobý roční průtok má hodnotu 1,39 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Stoletý průtok je 82 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a 355denní průtok je 0,131 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Neškodný odtok z nádrže je 22 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a minimální odtok je 0,12 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

## 2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vytvořit optimalizační model nádrže Mostišť. Model byl vytvořen v programu SOMVS. Následně byla ověřena funkčnost vytvořeného modelu při řízení provozu zásobní funkce nádrže během málovodného období. Málovodné období bylo vybráno z historické průtokové řady průměrných měsíčních průtoků. Při řízení odtoku vody z nádrže během vybraného období byl uplatněn princip adaptivního řízení. K nalezení optimálního odtoku vody z nádrže byla použita optimalizační metoda diferenciální evoluce. Vytvořený model je možno při znalosti předpovězených průměrných měsíčních průtoků využít na řízení toku vody systémem.

### 3. Metody řešení

V této je popsán matematický model zásobní funkce vodohospodářské soustavy. Pro systém zásobení vodou mohou být použity dva základní typy úloh. Jedná se o úlohu optimálního řízení systému a úlohu optimálního rozvoje systému. Úlohu optimálního řízení používáme tam, kde hledáme optimální tok vody systémem s definovanou strukturou. Úlohu optimálního rozvoje využíváme v případech, kdy struktura stávajícího systému přestane být dostačující. Dále bude popsána pouze metoda optimálního řízení. Postupně budou popsány jednotlivé metody řešení a bude popsán program SOMVS.

#### 3.1 Matematický model zásobní funkce

Vodohospodářskou soustavu definujeme, ve smyslu obecné definice systémů, jako množinu vodohospodářských prvků, spojených vzájemnými vazbami v účelový celek. Pokud chceme definovat vodohospodářskou soustavu systémem zásobení vodou, vyjmeme z ní pouze tu množinu prvků, která má přímý vliv na funkci zásobení vodou.

Systém zásobení vodou můžeme definovat pomocí orientovaného ohodnoceného grafu  $G(N,H)$  (Starý 1986), který je tvořen množinou vrcholů grafu  $N$  ( $n_i \in N$ ) a hran grafu  $H$  ( $h_{ij} \in H$ ). Množinu vrcholů  $N$  můžeme rozdělit na několik podmnožin:

- vodních zdrojů  $Z$ , která je tvořena vrcholy  $z \in Z$ . Tyto vrcholy můžeme označit jako místa, kde vtéká voda do systému.
- mezilehlých uzlů řízení  $U$ , která je tvořena vrcholy  $u \in U$ . Tuto množinu můžeme ještě dále rozdělit na dvě podmnožiny:
  - $U1$ , která zahrnuje pouze uzly řízení, které mají schopnost regulovat průtok vody v čase pomocí svého objemu. Jedná se tedy o vrcholy s akumulací.
  - $U2$ , která obsahuje pouze rozdělovací uzly. Jedná se tedy o vrcholy bez akumulace. Platí tedy:

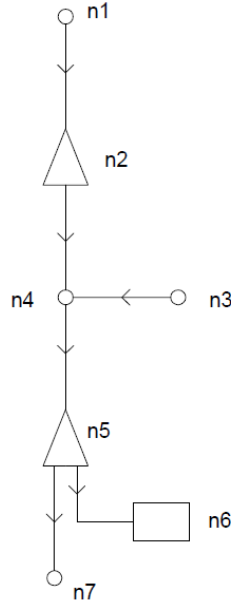
$$U = U1 + U2 \quad (1)$$

- odběratelů  $O$ , která je tvořena vrcholy  $o \in O$ .

Graf  $G(N,H)$  je jednoznačně zadán určením množiny  $N$  a  $H$ . Pro množinu  $N$  tedy platí:

$$N = Z + U + O \quad (2)$$

Hrany tohoto grafu  $h_{ij}$ , které vycházejí z  $i$ -tého vrcholu a končí v  $j$ -tém vrcholu, tvoří množinu  $H$  (tj.  $h_{ij} \in H$ ). Za hrany grafů považujeme koryta řek, kanály převodů vody atd.



**Obr. 3 - Příklad orientovaného grafu.**

Očíslování vrcholů  $n_1, n_3 \in Z$ ,  $n_2, n_5 \in U1$ ,  $n_4 \in U2$ ,  $n_6, n_7 \in O$ . Orientace hran grafu  $h_{1,2}$ ,  $h_{2,4}$ ,  $h_{3,4}$ ,  $h_{4,5}$ ,  $h_{5,7}$ ,  $h_{5,6} \in H$  je dána směrem toku vody v systému. Průtok vody hranou grafu můžeme obecně definovat jako  $Q_{i,j}(x,t)$ . Pokud přijmeme předpoklad, že doba dotoku je výrazně kratší než délka časového kroku  $\Delta t$ , můžeme zanedbat přechodové jevy ve hranách grafu. Pokud výše zmíněný předpoklad uvedeme v platnost, průtok na začátku hrany grafu bude shodný s průtokem na konci grafu. Délka časového kroku při strategickém řízení odtoku je jeden měsíc. Při tomto kroku nahrazujeme spojitý průtoky  $Q_{i,j}(t)$  vektorem  $\underline{Q}_{i,j}^\tau = (Q_{i,j}^1, Q_{i,j}^2, \dots, Q_{i,j}^N)$ . Prvky vektoru jsou průměrné měsíční průtoky a jejich pořadí určuje horní index  $\tau = 1, 2, \dots, N$ , kde  $N$  vyjadřuje počet řešených časových kroků neboli měsíců.

Úlohu můžeme formulovat jako nalezení vektorů:

$$\begin{aligned} Q_{z,j}^\tau &= (Q_{z,j}^1, Q_{z,j}^2, \dots, Q_{z,j}^n), \forall z \in Z; n_j \in U, \\ Q_{i,j}^\tau &= (Q_{i,j}^1, Q_{i,j}^2, \dots, Q_{i,j}^n), \forall n_i \in U; n_j \in U, \\ Q_{i,o}^\tau &= (Q_{i,o}^1, Q_{i,o}^2, \dots, Q_{i,o}^n), \forall o \in O; n_i \in U, \\ V_i^\tau &= (V_i^1, V_i^2, \dots, V_i^n), \forall n_i \in U1. \end{aligned} \quad (3)$$

Tyto vektory nám popisují tok vody orientovaným ohodnoceným grafem. Pokud seřadíme všechny prvky množiny vektorů, získáme vektor neznámých  $\underline{X}$  obsahující všechny neznámé veličiny. Prvky musí vyhovovat omezujícím podmínkám typu rovnice:

- pro vrcholy vodních zdrojů:

$$\sum_{hz,j \in C(z)} Q_{z,j}^\tau = Q_z^\tau, \forall z \in Z, \quad (4)$$

- pro vrcholy grafu s akumulací:



$$\sum_{hi,j \in A(j)} Q_{i,j}^{\tau} - \sum_{hj,k \in B(j)} Q_{j,k}^{\tau} = \frac{V_j^{\tau}}{\Delta t} - \frac{V_j^{\tau-1}}{\Delta t}, \forall n_j \in U1, \quad (5)$$

- pro vrcholy grafu bez akumulace:

$$\sum_{hi,j \in A(j)} Q_{i,j}^{\tau} - \sum_{hj,k \in B(j)} Q_{j,k}^{\tau} = 0, \forall n_j \in U2, \quad (6)$$

kde značí:

$\Delta t$  délka časového kroku,

$V_j^{\tau}$  objem vody ve vrcholu  $n_j$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$Q_{i,j}^{\tau}$  průtok hranou  $h_{i,j}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$Q_{j,k}^{\tau}$  průtok hranou  $h_{j,k}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$A(j)$  množinu všech hran  $h_{i,j}$ , které předávají vodu  $n_j$ ,

$B(j)$  množinu všech hran  $h_{j,k}$ , kterými odtéká voda z vrcholu  $n_j$ ,

$C(z)$  množinu všech hran  $h_{z,j}$ , kterými přitéká voda z vrcholu  $n_z$  do systému,

$Q_z^{\tau}$  hodnota přítoku do vrcholu  $z$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$Q_{z,j}^{\tau}$  průtok hranou  $h_{z,j}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

a omezujícím podmínkám typu nerovnic:

- pro průtok hranami:

$$\hat{Q}_{i,j}^{\tau} \leq Q_{i,j}^{\tau} \leq \check{Q}_{i,j}^{\tau}, \forall n_i \in U; \forall n_j \in U; \forall n_i \in Z, \quad (7)$$

- pro odběry:

$$\hat{Q}_o^{\tau} \leq Q_o^{\tau} \leq \check{Q}_o^{\tau}, \forall o \in O; \forall n_i \in U, \quad (8)$$

- pro plnění nádrží:

$$\hat{V}_j^{\tau} \leq V_j^{\tau} \leq \check{V}_j^{\tau}, \forall n_j \in U1, \quad (9)$$

kde značí:

$\check{Q}_{i,j}^{\tau}$  maximální průtok hranou  $h_{i,j}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$\hat{Q}_{i,j}^{\tau}$  minimální průtok hranou  $h_{i,j}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$\check{Q}_o^{\tau}$  maximální odběr ve vrcholu  $n_o$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$Q_{i,o}^{\tau}$  odběr hranou  $h_{i,o}$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$\hat{Q}_o^{\tau}$  minimální odběr ve vrcholu  $n_o$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$\check{V}_j^{\tau}$  maximální objem vody ve vrcholu  $n_j$  v časovém kroku  $\tau$ ,

$\hat{V}_j^{\tau}$  minimální objem vody ve vrcholu  $n_j$  v časovém kroku  $\tau$ .

Aby úloha měla řešení, musíme zadat počáteční a okrajové podmínky. Počáteční podmínka (10) určuje plnění nádrže v časovém kroku  $\tau = 0$ .

$$V_j^0, \forall n_j \in U1. \quad (10)$$

Okrajovými podmínkami jsou průtokové řady ve vstupních profilech systému a odpovídající pravé straně rovnice (5). Prvky vektoru  $\underline{X}$  určují polohu ve vícerozměrném prostoru. Řešení rovnic (4), (5) a (6) při dodržení nerovností (7), (8) a (9) má nekonečně

mnoho řešení. Pro stanovení jednoznačného řešení je nutné definovat kritériální funkci  $\pi$ , která je funkcí hodnoty vektoru  $\underline{X}$ . Výsledným řešením je pak hodnota vektoru  $\underline{X}$ , pro kterou kritériální funkce dosahuje požadovaného extrému (maxima nebo minima). Tvar kritériální funkce závisí na řešeném účelu. Funkci je vhodné vyjádřit v aditivním tvaru, například obecně:

$$\left[ \pi = \sum_{\forall o \in O} \sum_{\tau=1}^N f_o(Q_{i,o}^{\tau}) \right] \rightarrow MAX(MIN), \quad (11)$$

kde značí:

$Q_{i,o}^{\tau}$  průměrné odebrání množství vody v časovém kroku  $\tau$ ,  
 $f_o(Q_{i,o}^{\tau})$  dílčí kritériální funkci přiřazenou odběrateli vody  $o$ .

V našem řešeném případě se ovšem nebude jednat o soustavu nádrží, ale pouze o jednu izolovanou nádrž. U omezujících podmínek typu rovnic si tedy vystačíme pouze s rovnicemi pro vrcholy vodních zdrojů (4) a pro vrcholy grafu s akumulací (5). I u podmínek typu nerovnic dojde ke zjednodušení. Použijeme pouze nerovnice pro odběry (8) a pro plnění nádrží (9).

### 3.2 Metody řešení formulované úlohy

Matematický model úloh optimálního řízení představuje optimalizační problém, který obsahuje omezující podmínky lineární a kritériální funkce nelineární. K řešení úlohy je použit optimalizační model. Uvedené řešení nevyžaduje zadání způsobu řízení systému. K nalezení optimálního řešení je v optimalizačním modelu použita metoda Diferenciální evoluce.

#### 3.2.1 Diferenciální evoluce

Diferenciální evoluce je stochastická optimalizační metoda a její algoritmus je evolučního typu. Diferenciální evoluce se liší od většiny ostatních genetických algoritmů hlavně v tom, že tvorba potomků se provádí pomocí čtyř rodičů a ne pouze pomocí dvou. Cílem této metody je v cyklech, které nazýváme „generace“, vyšlechtit co nejlepší populaci (množinu) jedinců ve smyslu hodnot kritériální funkce (Zelinka 2002). Během každého procesu se provádí následující kroky:

##### 1) Stanovení parametrů

Vybrané hodnoty parametrů určují chod celé evoluce. Jsou to parametry  $F$  – mutační konstanta v intervalu  $\langle 0,2 \rangle$ ,  $CR$  – práh křížení v intervalu  $\langle 0,1 \rangle$ ,  $NP$  – počet jedinců v populaci (velikost množiny jedinců),  $D$  – rozměr vektoru jedince (počet hledaných parametrů).

##### 2) Tvorba populace

Populaci tvoříme vygenerováním množiny jedinců. Každý jedinec má parametry, které jsou stanoveny pseudonáhodně. Tyto parametry musí vyhovovat omezujícím podmínkám typu nerovnosti.

##### 3) Započetí cyklu generace

Během každé generace se provádí ještě cyklus, který zabezpečuje postupně evoluční šlechtění každého jedince z populace. V tomto cyklu se postupně vybírá jeden jedinec



(aktivní jedinec, cílový vektor) za druhým, z nichž je proveden následující evoluční cyklus.

#### **4) Evoluční cyklus**

V tomto cyklu je prováděna mutace a křížení. Náhodně jsou zvoleni tři různí jedinci (vektory) z populace. První dva se od sebe odečtou a získá se diferenční vektor. Ten se vynásobí mutační konstantou, která jej změní (zmutuje), a získá se váhovaný diferenční vektor. Váhovaný diferenční vektor se přičte k třetímu náhodně vybranému jedinci (vektoru) a získá se šumový vektor. Následně se připraví zkušební vektor a z cílového šumového vektoru se bere postupně jeden prvek za druhým. Pro každou vybranou dvojici se generuje pseudonáhodné číslo v intervalu  $\langle 0,1 \rangle$  a porovnává se s prahem křížení. Pokud je toto číslo menší než práh křížení, pak se do příslušné pozice ve zkušebním vektoru umístí prvek z vektoru šumového a v opačném případě z vektoru cílového. Tak se získá zkušební vektor, jehož hodnota kritériální funkce se porovnává s hodnotou kritériální funkce cílového vektoru. Na pozici cílového vektoru v nové populaci je vybrán ten vektor – jedinec, který má hodnotu kritériální funkce lepší. Tím je zajištěno, že se do nové generace dostanou jedinci s lepšími vlastnostmi. Vybere se další jedinec – cílový vektor a celý evoluční cyklus se opakuje až do vyčerpání populace. Tak vznikne nová generace potomků (jedinců).

#### **5) Testování naplnění ukončovacích parametrů**

Diferenciální evoluce je ukončena po provedení požadovaného počtu generací.

### **3.3 Program SOMVS**

Program SOMVS (Simulační a optimalizační model vodohospodářské soustavy) je vytvořen na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební, Ústavu vodního hospodářství krajiny. Program byl vytvořen v rámci disertační práce Ing. Pavla Menšíka Ph.D. SOMVS umožňuje automatizované vodohospodářské řešení zásobní funkce vodohospodářských soustav. Program je vytvořen obecně, tak aby pomocí kódových čísel bylo možno zadat téměř libovolnou reálnou konfiguraci soustavy nádrží.

Výpočtový modul programu je zapsán v programovacím jazyce FORTRAN 77. Modul podle požadavku umožní sestavit optimalizační nebo simulační model libovolného systému zásobení vodou a řešit na něm úlohy optimálního řízení a optimálního rozvoje.

Program je vybaven grafickým interaktivním uživatelským rozhraním. Uživatelské rozhraní je vytvořeno ve výukovém prostředí Microsoft Visual Studio za použití programovacího jazyka Microsoft Visual C#.

### **3.4 Způsoby řízení zásobní funkce**

V této podkapitole se budeme zabývat především dvěma způsoby řízení zásobní funkce. V prvním případě se bude jednat o řízení na nalepšený odtok, kde si popíšeme simulační model a v druhém případě se bude jednat o adaptivní simulační model s optimalizačním řízením.

### 3.4.1 Řízení na nalepšený odtok

U řízení na nalepšený odtok se používá především simulační model, kde pravidla řízení jsou nahrazeny předepsaným (požadovaným) odtokem vody z nádrže. Předepsaný odtok je roven odtoku nalepšenému. U simulačního modelu probíhá řešení odlišným způsobem než u přímých optimalizačních metod. Omezující podmínky jsou řešeny postupně v časových krocích  $\tau=1,2,\dots, N$ . Přitom v každém kroku se snažíme přiblížit hodnotě nalepšeného odtoku z nádrže. V programu Microsoft Excel byl vytvořen jednoduchý simulační model, pomocí kterého byl proveden výpočet.

### 3.4.2 Adaptivní simulační model s optimalizačním řízením

Adaptace vychází z principu metod umělé inteligence. V praxi se používá na částečné eliminování chyb při nepřesnostech předpovědi. Při adaptivním přístupu probíhá řešení ve dvou úrovních. Jedná se o lokální model, který představuje první úroveň a o globální model, který představuje úroveň druhou. Optimalizační model hledá optimální řízení opakovaně na úrovni lokálního modelu. Z výsledků prvního stupně, tedy lokálního modelu, použijeme jen ty, které se týkají prvního časového kroku. Hodnoty na konci prvního časového kroku jsou počátečními podmínkami pro další řešení optimalizačního modelu, který hledá optimální řízení na příštím lokálním modelu. Lokální model se tak vždy postupně posouvá o jeden časový krok. Model se tak postupně adaptuje na nové podmínky, které vznikly při řízení, čímž částečně eliminuje chybu. Počet časových kroků lokálního modelu je shodný s délkou předpovědi.

## 4. Praktická aplikace

Aplikace je provedena na izolované nádrži Mostišť. Podrobné informace o nádrži jsou uvedeny v úvodní kapitole (1). Informace o nádrži jsou převzaty z internetových stránek Povodí Moravy, s.p. Řízení bude provedeno na historické průtokové řadě. K dispozici je řada průměrných měsíčních průtoků dlouhá 86 let. Řada obsahuje měsíční průtoky od roku 1925 do roku 2010. Řada měsíčních průtoků byla poskytnuta ČHMÚ. Měsíční průtoky byly měřeny v profilu Dolní Bory na řece Oslavě.

Řízení bude probíhat na období dvou let, tedy 24 měsíců. Postup výběru průtokové řady je popsán v podkapitole 4.1.

Simulace provozu nádrže je provedena pomocí simulačního modelu, který je vytvořen v programu Microsoft Excel. V podkapitole 4.2 je popsán vytvořený simulační model uvažované nádrže. Simulační model je použit pro stanovení nejlepšího odtoku. Cílem je, aby zvolené velikosti nejlepšího odtoků způsobily napjatou hydrologickou situaci v systému. Napjatá situace potom způsobí vznik poruch. Za tímto účelem byla provedena analýza řízení na nejlepší odtok.

V podkapitole 4.3 schematizujeme řešenou nádrž pomocí orientovaného ohodnoceného grafu.

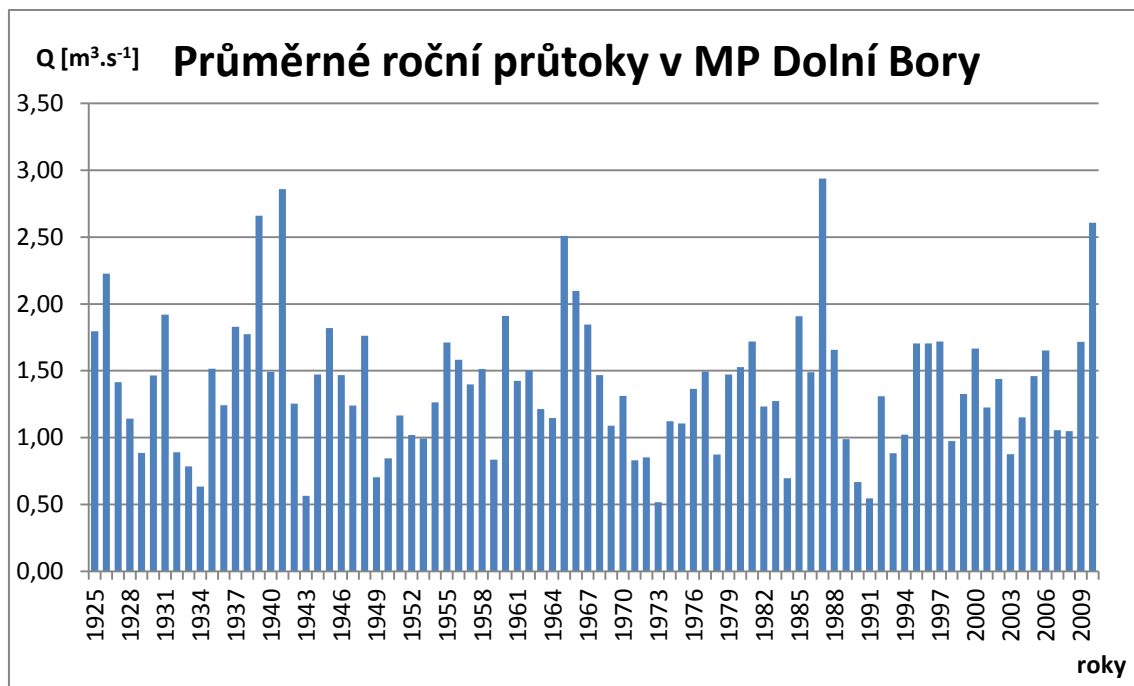
Řídící rovnice pro izolovanou nádrž jsou zapsány v podkapitole 4.4. Jsou zde formulovány podmínky typu rovnic a podmínky typu nerovnic. Dále je zde formulována kritériální funkce do tvaru umožňujícím najít optimální tok vody v systému.

V podkapitole 4.5 je popsáno nastavení programu SOMVS pro naši nádrž. Také je zde v podkapitole popsána volba délky předpovědi (počet časových kroků optimalizačního modelu).

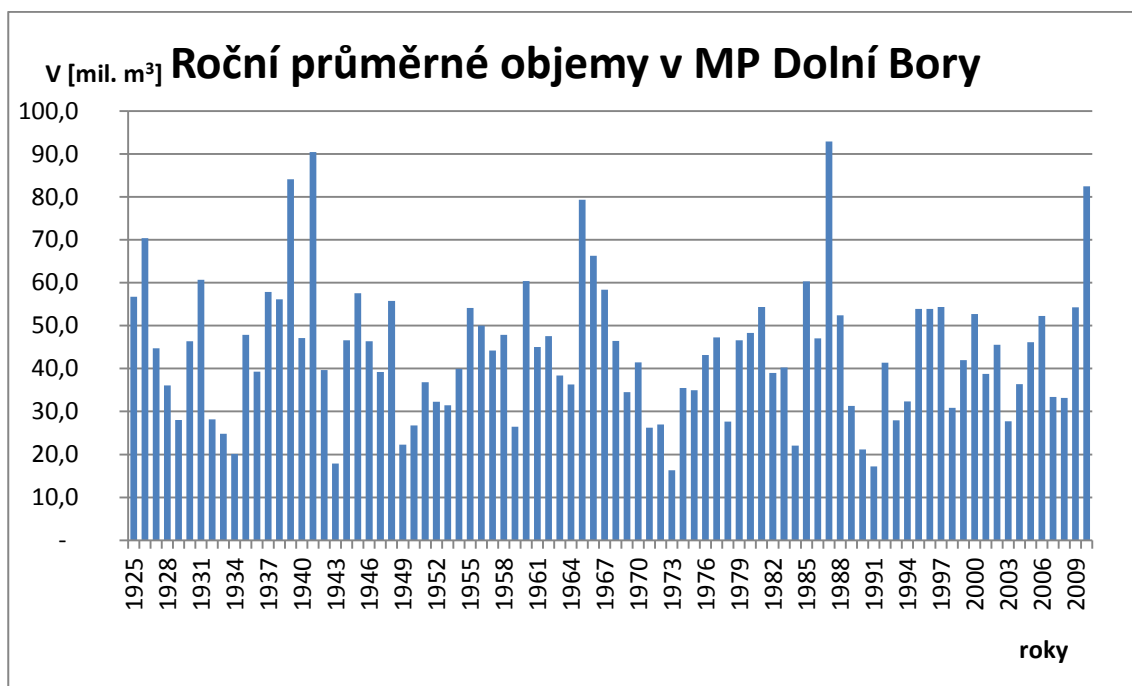
### 4.1 Výběr průtokových řad

Řízení je provedeno na 24 měsíců, tedy dva po sobě jdoucí roky. K dispozici máme řadu průměrných měsíčních průtoků z let 1925 až 2010. Reálnou řadu průměrných měsíčních průtoků jsme získali z ČHMÚ. Vybírali jsme nejméně vodná období, která způsobí napjatost v systému.

Na obr. 4 je možno vidět průměrné roční průtoky v měrném profilu Dolní Bory. Obr. 5 nám potom zobrazuje průměrné roční objemy, které protekly měrným profilem Dolní Bory.



*Obr. 4 - Průměrné roční průtoky v MP Dolní Bory.*



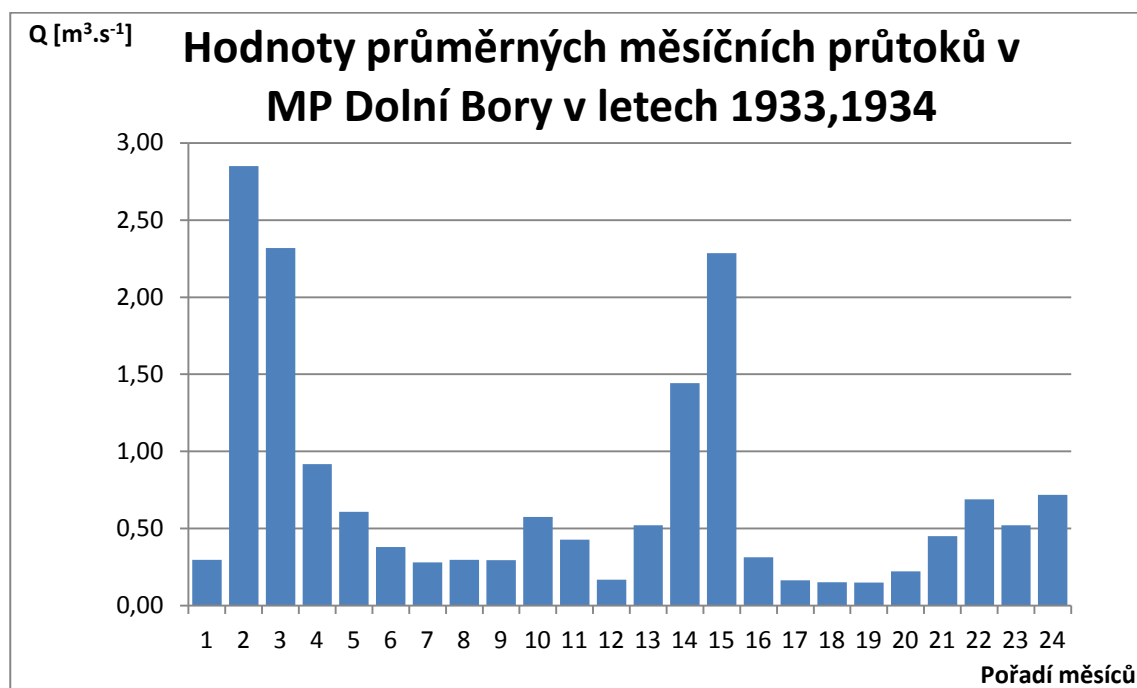
*Obr. 5 - Průměrné roční objemy v MP Dolní Bory.*

Na základě výše uvedených grafů byly vybrány pro analýzu celkem tři období. Jsou to roky 1990,1991, kde je průměr průtoků v těchto letech nejmenší. Dále jsou vybrány roky 1972,1973. Průměr průtoků za toto období je nepatrně vyšší, ovšem v roce 1973 vůbec nejmenší průměr měsíčních průtoků za celé období 86 let. Na doplnění jsou přidány roky 1933,1934

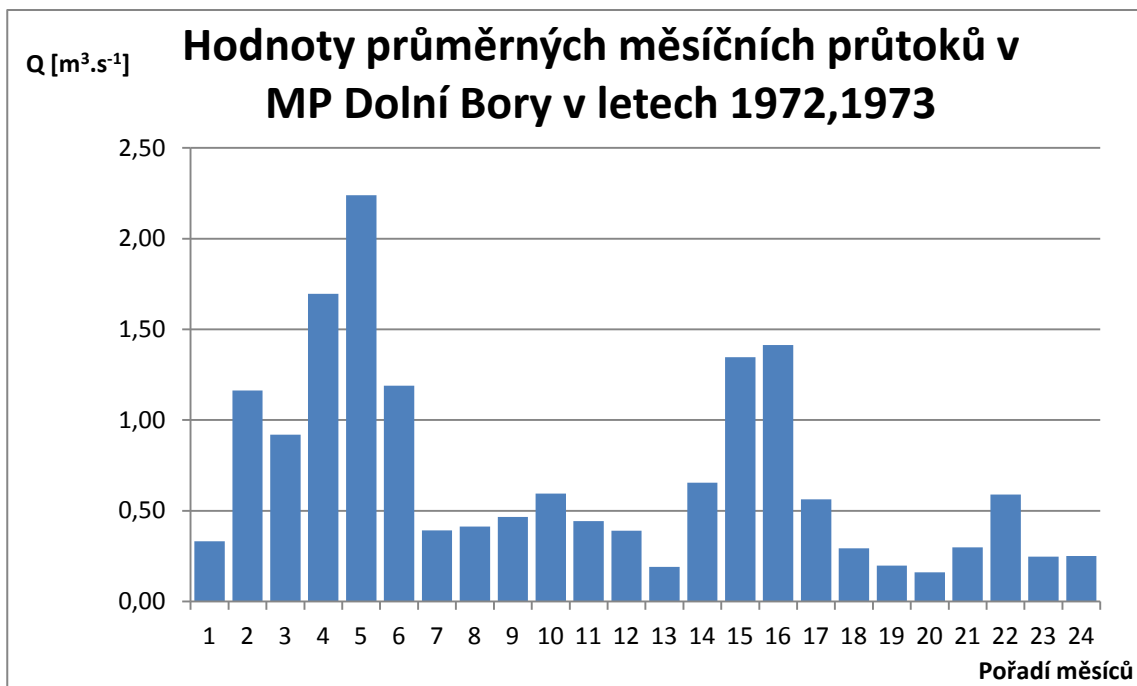
Tab. 2 ukazuje průměrné hodnoty měsíčních průtoků ve zvolených letech. Na obr. 6, obr. 7 a obr. 8 jsou vidět průměrné měsíční průtoky v měrném profilu Dolní Bory v námi zvolených obdobích.

**Tab. 2 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] ve vybraných letech.**

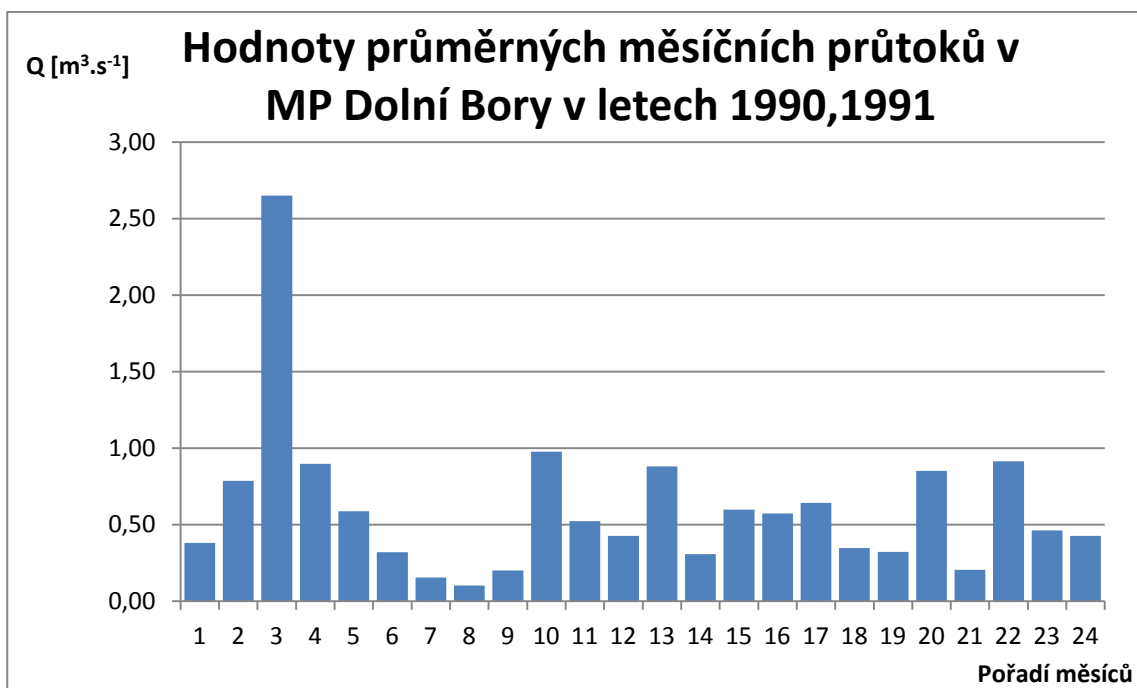
rok	Měsíc											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1933	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,30	0,29	0,57	0,43	0,17
1934	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
1972	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
1973	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
1990	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
1991	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43



**Obr. 6 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1933,1934.**



*Obr. 7 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1972,1973.*



*Obr. 8 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1990,1991.*

#### 4.2 Simulační model – Analýza řízení na nalepšený odtok

Simulační model je vytvořen v programu Microsoft Excel. Cílem simulace je stanovit takový odtok, který způsobí vznik napjatosti v systému a taky zapříčiní vznik poruch ve vybraném období.

Průměrné měsíční průtoky, s kterými budeme v analýze pracovat, jsou uvedeny v tab. 2. Nalepšený odtok má hodnotu  $1,390 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Postupně budeme v analýze měnit součinitel  $\alpha$ , který se pohybuje v intervalu  $(0,1>$ , čímž bude postupně přibývat poruchových měsíců.

Budeme se snažit najít takovou hodnotu součinitele, aby vznikl dostatek poruchových měsíců. Analýzu provedeme pro tři různé počáteční stavy. Pro plnou nádrž, poloprázdnou nádrž a prázdnou nádrž. Nicméně výsledný nalepšený odtok pro každé období budeme uvažovat z plné nádrže.

V níže přiložených tabulkách (tab. 3, tab. 4, tab. 5) je vidět konečná hodnota nalepšeného odtoku pro dané období. Číslo jedna znamená, že je daný měsíc nebo rok poruchový. Číslo 0 znamená, že daný měsíc poruchový není. Dále jsou tam vidět i objemy poruch. Touto analýzou zvolených období chceme najít hodnotu nalepšeného odtoku, se kterou budeme dále počítat.

#### 4.2.1 Analýza řízení pro období 1933,1934

V prvním případě budu vycházet z plné nádrže. Do alfy 0,51 je počet bezporuchových měsíců roven nule. Pokud ovšem přejdu k alfe 0,52, tak se počet bezporuchových měsíců zvedne na 4. Všechny měsíce se vyskytují v druhém roce, tedy v roce 1934. Pokud budu nadále zvyšovat alfu, tak poroste počet poruchových měsíců. U alfy 0,59 máme 7 poruchových měsíců, všechny v roce 1934. Pokud hodnotu alfy zvednu na 0,6, nastane první porucha i v roce 1933, konkrétně v prosinci. Při zvyšování dochází k nárůstu poruch v obou letech. Analýzu ukončím při alfe 0,8, kdy je poruchových celkem 13 měsíců, 4 v roce 1933 a zbytek v roce následujícím.

V druhém případě budu v analýze vycházet z poloviny zásobního objemu. Poslední hodnota alfy, kdy nedojde k žádné poruše, je 0,51. U alfy 0,52 mám 4 poruchové měsíce a všechny se nachází na konci roku 1934. Při navyšování alfy se zvětšuje počet poruchových měsíců především v druhém roce. U alfy 0,59 mám celkem 7 poruchových měsíců a všechny v druhém roce. Při dalším zvyšování alfy dochází k nárůstu poruchových měsíců v obou letech. Analýzu ukončím u hodnoty 0,8, kdy mám celkem 13 poruchových měsíců, 9 v roce 1934 a zbytek v prvním roce.

V poslední analýze budu pro dvojici let vycházet z prázdné nádrže. První porucha nastane již při alfe 0,22. Při dalším zvyšování alfy se dlouho nic neděje. Až do alfy 0,51 dochází pouze ke zvyšování objemu poruch. U alfy 0,52 dojde k náhlému vzestupu a počet poruchových měsíců stoupne na hodnotu 5. Do alfy 0,59 dochází k nárůstu poruch především v druhém roce. Od alfy 0,6 začínají přibývat poruchové měsíce i v prvním roce. U hodnoty 0,65 mám poruchových celkem 11 měsíců. Analýzu ukončím opět u alfy 0,8, kdy mám poruchových celkem 15 měsíců.

**Tab. 3 - Analýza pro období 1933,1934.**

			$\alpha = 0,75$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]
							0			
1	1933	1	1,043	0,30	1,043	0,747	0,747	1	0	0,000
2		2	1,043	2,85	2,103	-1,808	0,000		0	0,000

			$\alpha = 0,75$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[-]	[m³/s]
3		3	1,043	2,32	2,319	-1,277	0,000		0	0,000
4		4	1,043	0,92	1,043	0,126	0,126		0	0,000
5		5	1,043	0,61	1,043	0,435	0,561		0	0,000
6		6	1,043	0,38	1,043	0,664	1,225		0	0,000
7		7	1,043	0,28	1,043	0,763	1,987		0	0,000
8		8	1,043	0,30	1,043	0,746	2,733		0	0,000
9		9	1,043	0,29	1,043	0,749	3,482		0	0,000
10		10	1,043	0,57	0,637	0,468	3,544		1	0,406
11		11	1,043	0,43	0,427	0,615	3,544		1	0,615
12		12	1,043	0,17	0,166	0,876	3,544		1	0,876
13	1934	1	1,043	0,52	0,521	0,522	3,544	1	1	0,522
14		2	1,043	1,44	1,043	-0,401	3,143		0	0,000
15		3	1,043	2,29	1,043	-1,243	1,900		0	0,000
16		4	1,043	0,31	1,043	0,730	2,630		0	0,000
17		5	1,043	0,16	1,043	0,878	3,508		0	0,000
18		6	1,043	0,15	0,186	0,893	3,544		1	0,857
19		7	1,043	0,15	0,148	0,894	3,544		1	0,894
20		8	1,043	0,22	0,222	0,821	3,544		1	0,821
21		9	1,043	0,45	0,449	0,593	3,544		1	0,593
22		10	1,043	0,69	0,690	0,353	3,544		1	0,353
23		11	1,043	0,52	0,520	0,523	3,544		1	0,523
24		12	1,043	0,72	0,717	0,325	3,544		1	0,325
							$\Sigma$	2	11	6,784

Pro další výpočty jsem si v tomto období vybral součinitel  $\alpha=0,75$ . Nalepšený odtok má tedy hodnotu  $1,043 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nalepšený odtok představuje v optimalizačním modelu řídicí odtok. V prvním roce dojde k poruše celkem ve třech měsících, konkrétně v říjnu, listopadu a prosinci. V druhém roce, tedy v 1934, dojde k poruše celkem v 8 měsících. Celkem máme tedy poruchových 11 měsíců.

#### 4.2.2 Analýza řízení pro období 1973,1974

Při první analýze budeme vycházet z plné nádrže jako u předchozích let. Poslední alfa, při které nedojde k poruše, je 0,49. Při alfě 0,5 dojde k poruše v prosinci roku 1973. Při dalším navyšování alfy dochází k růstu poruchových měsíců, ale pouze v druhém roce, tedy



v 1973. Při alfě 0,74 mám poruchových celkem 7 měsíců a všechny se nachází v druhém roce. Pokud zvýším alfu na hodnotu 0,75, mám poruchových měsíců celkem 10 a jeden se vyskytuje i v roce prvním. U hodnoty 0,8 dosáhnou poruchy v 11 měsících.

Při druhé analýze u těchto dvou let budu vycházet z polovičního zásobního objemu. K první poruše dojde při alfě 0,5 a to pouze v jednom měsíci, konkrétně v prosinci roku 1973. Postupně zvyšuju alfu až po hodnotu 0,71, kdy mám poruchových celkem 9 měsíců, všechny se ovšem vyskytují v roce 1973. Na hodnotě 0,72 je celkem 10 poruchových měsíců a jeden se vyskytuje i v roce 1972. Analýzu ukončím při hodnotě 0,85, kdy mám poruchových celkem 14 měsíců, z toho 4 se vyskytují v roce 1972, tedy v prvním roce.

Při poslední analýze u těchto dvou let budu vycházet z prázdné nádrže. První porucha nastane již při alfě 0,24 a to konkrétně v lednu 1972. Při zvyšování se moc změn neděje. U hodnoty 0,52 máme poruchové celkem 3 měsíce, leden v roce 1972 a listopad s prosincem v roce 1973. Při dalším zvyšování dochází k nárůstu poruchových měsíců především v druhém roce. U alfy 0,6 mám poruchových celkem 8 měsíců, 7 z nich je z druhého roku. Při dalším zvyšování dochází k nárůstu v obou letech. Analýzu ukončím u alfy 0,77, kdy mám poruchových celkem 15 měsíců, 6 v prvním roce a 9 v roce druhém.

**Tab. 4 - Analýza pro období 1972,1973.**

			$\alpha = 0,79$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]
							0			
1	1972	1	1,098	0,33	1,098	0,766	0,766	1	0	0,000
2		2	1,098	1,16	1,098	-0,064	0,702		0	0,000
3		3	1,098	0,92	1,098	0,178	0,880		0	0,000
4		4	1,098	1,70	1,098	-0,597	0,283		0	0,000
5		5	1,098	2,24	1,956	-1,141	0,000		0	0,000
6		6	1,098	1,19	1,189	-0,091	0,000		0	0,000
7		7	1,098	0,39	1,098	0,706	0,706		0	0,000
8		8	1,098	0,41	1,098	0,685	1,392		0	0,000
9		9	1,098	0,47	1,098	0,632	2,024		0	0,000
10		10	1,098	0,59	1,098	0,503	2,527		0	0,000
11		11	1,098	0,44	1,098	0,655	3,182		0	0,000
12		12	1,098	0,39	0,751	0,708	3,544		1	0,347
13	1973	1	1,098	0,19	0,190	0,908	3,544	1	1	0,908
14		2	1,098	0,66	0,655	0,443	3,544		1	0,443
15		3	1,098	1,35	1,098	-0,247	3,297		0	0,000

			$\alpha = 0,79$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[-]	[m³/s]
16		4	1,098	1,41	1,098	-0,315	2,981		0	0,000
17		5	1,098	0,56	1,098	0,536	3,517		0	0,000
18		6	1,098	0,29	0,319	0,805	3,544		1	0,779
19		7	1,098	0,20	0,197	0,901	3,544		1	0,901
20		8	1,098	0,16	0,160	0,938	3,544		1	0,938
21		9	1,098	0,30	0,298	0,800	3,544		1	0,800
22		10	1,098	0,59	0,588	0,510	3,544		1	0,510
23		11	1,098	0,25	0,247	0,851	3,544		1	0,851
24		12	1,098	0,25	0,251	0,847	3,544		1	0,847
							$\Sigma$	2	10	7,324

Pro další výpočty jsem si v tomto období vybral součinitel  $\alpha=0,79$ . Nalepšený odtok má tedy hodnotu  $1,098 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nalepšený odtok představuje v optimalizačním modelu řídicí odtok. V prvním roce, tedy v 1972, dojde k poruše pouze v prosinci. V druhém roce je poruchových celkem 9 měsíců. Dohromady v období 1972,1973 máme poruchových celkem 10 měsíců.

#### 4.2.3 Analýza řízení pro období 1990,1991

Při první analýze budu vycházet z plné nádrže. Poslední alfa, při které nedojde k žádné poruše je 0,48. Naopak pokud zvolím alfu rovnu 0,8, tak dojde k poruchám v 16 měsících, což je hodně, proto budu nyní manipulovat a volit hodnotu v intervalu od 0,48 do 0,8. Pokud postupně zvyšuji součinitel alfa od hodnoty 0,49, kdy dojde k poruše až po hodnotu 0,55, tak postupně roste počet poruchových měsíců až k číslu 6. K poruchám dochází převážně v druhém roce. Při hodnotě 0,61 mám celkem 9 poruchových měsíců a všechny se vyskytují v druhém roce, tedy v 1991. Při hodnotě 0,66 tedy při nalepšeném odtoku  $0,917 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dojde již ve 14 měsících k poruchám, všechny měsíce v druhém roce jsou poruchové. Při hodnotě 0,75 dojde k poruše v 16-ti měsících, tedy stejně jako u hodnoty 0,8, kterou jsem si zvolil jako svou horní hranici. Až po hodnotu 0,8 se počet poruchovým měsíců nezmění, bude se pouze zvyšovat objem nedodané vody.

Při další analýze budu vycházet z poloviny zásobního objemu. První porucha nastane při alfe 0,49 a to celkem ve 2 měsících. Dále budu zvyšovat alfu a budu mít větší počet poruch. Při alfe 0,57 mám poruchových celkem 9 měsíců, všechny se ovšem vyskytují v roce 1991. Při alfe 0,59 bude poruchových celkem 10 měsíců, z toho pouze jeden v roce 1990. Při alfe 0,69 končím s manipulací. Při tomto stavu mám všechny poruchové měsíce v roce 1991 a 4 poruchové v roce 1990.

Při poslední analýze, kterou provádím pro tyto dva roky, budu vycházet z prázdné nádrže. První porucha, konkrétně v lednu roku 1990, nám vyjde při alfě 0,28. Při zvyšování alfy se nám zvyšuje i počet poruchových měsíců. Při alfě 0,45 mám poruchových celkem 3 měsíce a z toho dva se vyskytnou v roce 1991. Při dalším zvyšování alfy dochází k nárůstu poruchových měsíců výhradně v roce 1991 a to až do alfy 0,51, kdy máme poruchových celkem 11 měsíců. S analýzou končím v při alfě 0,57, kdy mám poruchových celkem 15 měsíců, 6 v roce 1990 a zbytek v roce 1991.

**Tab. 5 - Analýza pro období 1990,1991.**

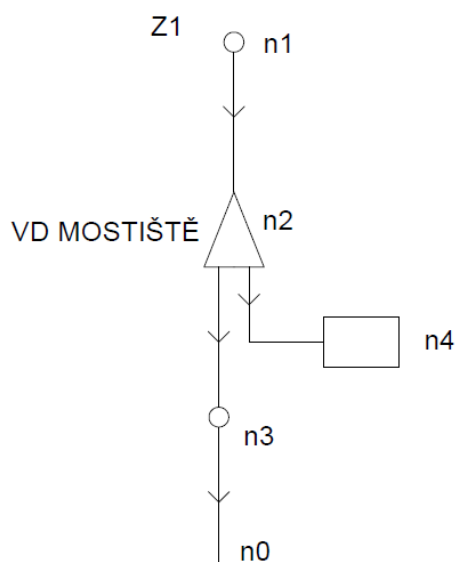
			$\alpha = 0,65$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]
							0			
1	1990	1	0,904	0,38	0,904	0,523	0,523	1	0	0,000
2		2	0,904	0,79	0,904	0,116	0,639		0	0,000
3		3	0,904	2,65	2,011	-1,747	0,000		0	0,000
4		4	0,904	0,90	0,904	0,005	0,005		0	0,000
5		5	0,904	0,59	0,904	0,314	0,319		0	0,000
6		6	0,904	0,32	0,904	0,583	0,902		0	0,000
7		7	0,904	0,16	0,904	0,747	1,649		0	0,000
8		8	0,904	0,10	0,904	0,801	2,450		0	0,000
9		9	0,904	0,20	0,904	0,701	3,152		0	0,000
10		10	0,904	0,98	0,904	-0,074	3,078		0	0,000
11		11	0,904	0,52	0,904	0,380	3,457		0	0,000
12		12	0,904	0,43	0,514	0,476	3,544		1	0,389
13	1991	1	0,904	0,88	0,881	0,023	3,544	1	1	0,023
14		2	0,904	0,31	0,309	0,595	3,544		1	0,595
15		3	0,904	0,60	0,599	0,305	3,544		1	0,305
16		4	0,904	0,57	0,575	0,329	3,544		1	0,329
17		5	0,904	0,64	0,642	0,262	3,544		1	0,262
18		6	0,904	0,35	0,349	0,555	3,544		1	0,555
19		7	0,904	0,32	0,323	0,580	3,544		1	0,580
20		8	0,904	0,85	0,852	0,052	3,544		1	0,052
21		9	0,904	0,20	0,205	0,699	3,544		1	0,699
22		10	0,904	0,91	0,904	-0,011	3,533		0	0,000
23		11	0,904	0,46	0,475	0,440	3,544		1	0,429

			$\alpha = 0,65$							
i	Rok	Měsíc	Op	Q	O	Op-Q	$\Sigma(\text{Op-Q})$	Nr	Nm	D'
[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]
24		12	0,904	0,43	0,427	0,476	3,544		1	0,476
							$\Sigma$	2	10	7,324

Pro období 1990,1991 jsem zvolil součinitel  $\alpha=0,65$ . Hodnota nalepšeného odtoku je tedy 0,904 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Nalepšený odtok představuje v optimalizačním modelu řídicí odtok. V prvním roce období je poruchový pouze prosinec. U druhého roku je poruchových celkem 11 měsíců. Jediný neporuchový měsíc je říjen. Celkem máme tedy 12 poruchových měsíců.

### 4.3 Schematizace izolované nádrže

Vybranou nádrž Mostišť můžeme charakterizovat pomocí orientovaného ohodnoceného grafu. Graf je vyobrazen na obrázku níže (obr. 9).



**Obr. 9 - Orientovaný ohodnocený graf VD Mostiště.**

Dle obrázku je vidět, že ohodnocený graf je tvořen hranami  $h_{1,2}$ ,  $h_{2,3}$ ,  $h_{2,4}$ ,  $h_{3,0}$ . Jedná se o úseky toku Svratky a jeden úsek odběru. Vrchol  $n_1$  je přítok do grafu. Vrchol  $n_3$  je bez akumulace. Vrchol označený  $n_4$  je odběr z nádrže. A vrchol  $n_2$  je nádrž.

V tabulce (tab. 6) jsou vidět dva objemy, se kterými pracujeme ve výpočtech. První je objem stálého nadržení a druhý je objem zásobního prostoru.

**Tab. 6 - Objemy nádrže.**

	VD Mostiště
$V_{SN} \text{ [m}^3\text{]}$	1 045 000
$V_{zás} \text{ [m}^3\text{]}$	10 384 000

Odběr vody z nádrže má povolený pouze Svaz vodovodů a kanalizací Žďársko. Rozhodnutí bylo uděleno dne 16. 10. 2007. Nakládání s vodami je povoleno v množství  $Q = 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , v denním maximu  $0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_{\text{měs}} = 557\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ ,  $6\,300\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Každé hraně je nutno přiřadit maximální a minimální průtoky. Informace jsme převzali z Manipulačního řádu VD Mostiště. Minimální průtok v toku pod nádrží uvažujeme hodnotou  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Horní hranice je uvažována jako průtok, při kterém nedochází k podmáčení a rozlivům v zastavěné části obce. Jedná se o hodnotu  $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### 4.4 Řídící rovnice

Pro řešenou nádrž jsou omezující podmínky typu rovnice a omezující podmínky typu nerovností přepsány do následujícího tvaru:

##### Omezující podmínky typu rovnice:

-pro zdroje:

$$Q_{Z1,2}^{\tau} = Q_1^{\tau} \quad (12)$$

-pro nádrže:

$$Q_{1,2}^{\tau} - Q_{2,3}^{\tau} - Q_{2,4}^{\tau} = \frac{V_2^{\tau}}{\Delta t} - \frac{V_2^{\tau-1}}{\Delta t} \quad (13)$$

##### Omezující podmínky typu nerovností:

-pro průtok vody vnitřními hranami grafu:

$$\hat{Q}_{2,3}^{\tau} \leq Q_{2,3}^{\tau} \leq \check{Q}_{2,3}^{\tau} \quad (14)$$

-pro nádrže:

$$\hat{V}_2^{\tau} \leq V_2^{\tau} \leq \check{V}_2^{\tau} \quad (15)$$

$$1,045 \text{ mil m}^3 \leq V_2^{\tau} \leq 10,384 \text{ mil m}^3 \quad (16)$$

-pro odběry:

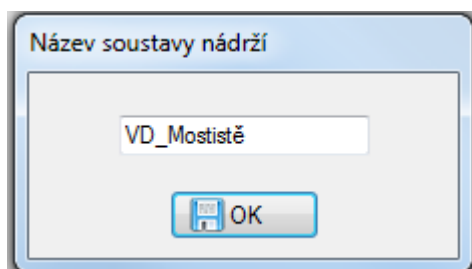
$$\hat{Q}_4^{\tau} \leq Q_{2,4}^{\tau} \leq \check{Q}_4^{\tau} \quad (17)$$

Kriteriální funkce je zde vyjádřena pomocí technických ukazatelů. Argumenty funkce (18)  $Q_{2,4}^{\tau}, Q_{2,3}^{\tau}$ , značí neznámé průtoky v hranách orientovaného ohodnoceného grafu během časových kroků.  $\check{Q}_4^{\tau}$  značí předepsanou (požadovanou) hodnotu pro odběr. Ukazatel  $W_{2,3}^{\tau}$  značí předepsaný řídicí odtok vody z nádrže do toku pod nádrží Mostiště. Tato hodnota je volena pro každé řešení individuálně, aby došlo v systému ke vzniku poruchových měsíců.

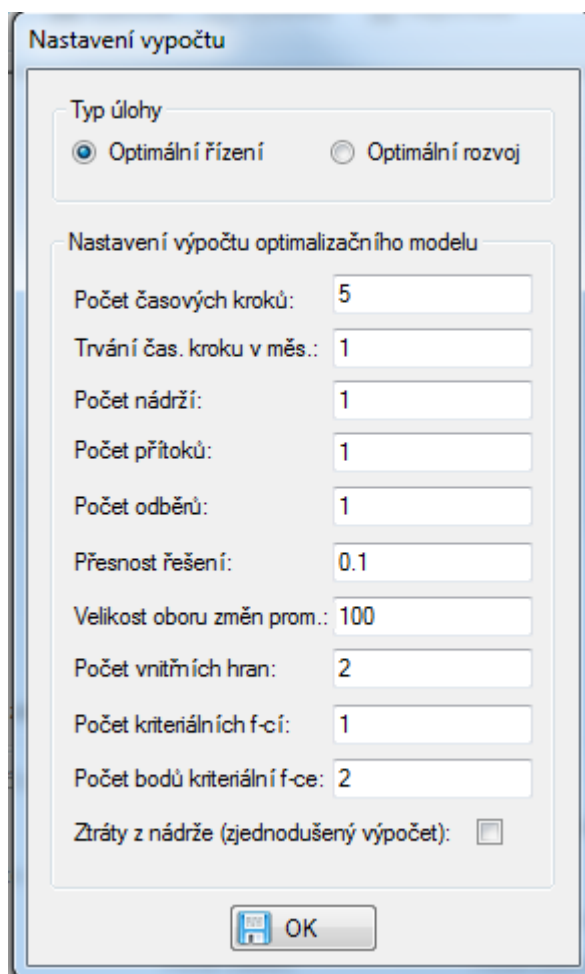
$$\left[ \pi = \sum_{\tau=1}^N ((Q_{2,4}^{\tau} - \check{Q}_4^{\tau})^2 + (Q_{2,3}^{\tau} - W_{2,3}^{\tau})^2) \right] \rightarrow MIN \quad (18)$$

#### 4.5 Nastavení programu

Jak je již zmíněno výše, řešení bude provedeno pomocí programu SOMVS. První je potřeba vytvořit v programu projekt a nastavit cílovou složku pro ukládání. Řešení je provedeno pro celkem 5 variant, které se liší počtem časových kroků lokálního modelu. Bude to pro časové kroky  $N=1$ ,  $N=3$ ,  $N=5$ ,  $N=8$ ,  $N=12$ . Při řízení v praxi by délka časové řady odpovídala délky předpovědi. My ovšem pracujeme s reálnou průtokovou řadou, délku si tedy můžeme volit. Na níže uvedených obrázcích lze vidět postupné nastavení programu.



*Obr. 10 - Dialogové okno - Název soustavy nádrží.*



*Obr. 11 - Dialogové okno Nastavení výpočtu.*

Počáteční objemy

Počáteční objemy

	Číslo nádrže	Počáteční objem nádrže
►	1	10384000

OK

Obr. 12 - Dialogové okno - Počáteční objemy.

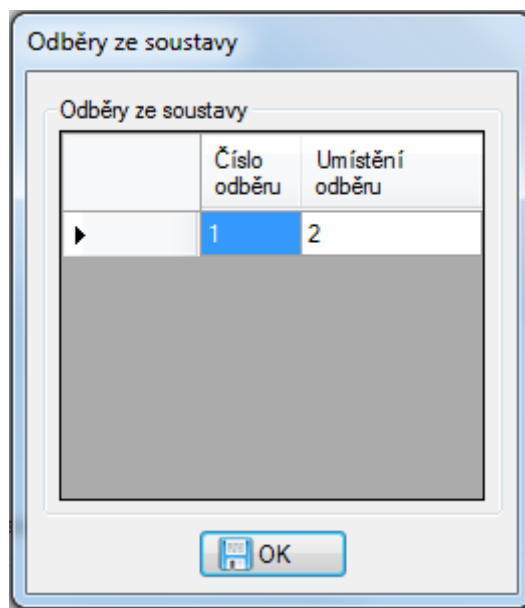
Max. a min. objemy v nádržích během jednotlivých časových kroků

Max. a min. objemy v nádržích během jednotlivých časových kroků

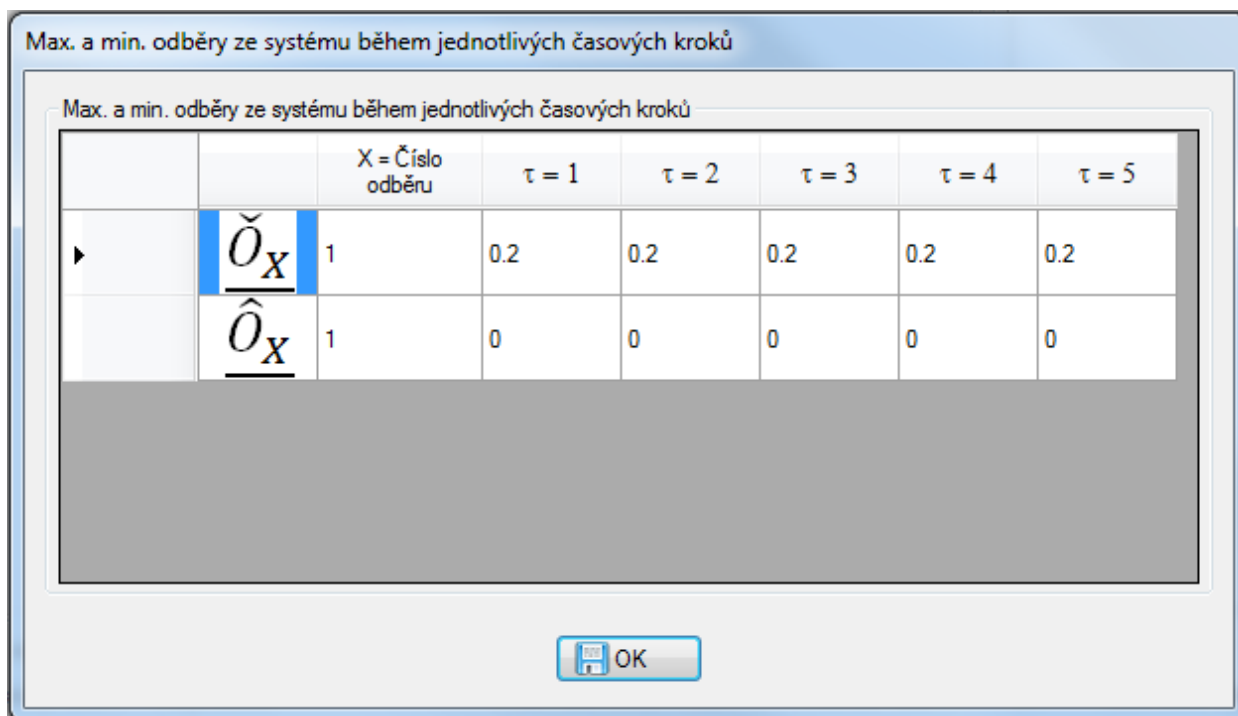
		X = Číslo nádrže	$\tau = 1$	$\tau = 2$	$\tau = 3$	$\tau = 4$	$\tau = 5$
►	$\check{V}_X$	1	10384000	10384000	10384000	10384000	10384000
	$\hat{V}_X$	1	1045000	1045000	1045000	1045000	1045000

OK

Obr. 13 - Dialogové okno - Maximální a minimální objemy v nádrži.

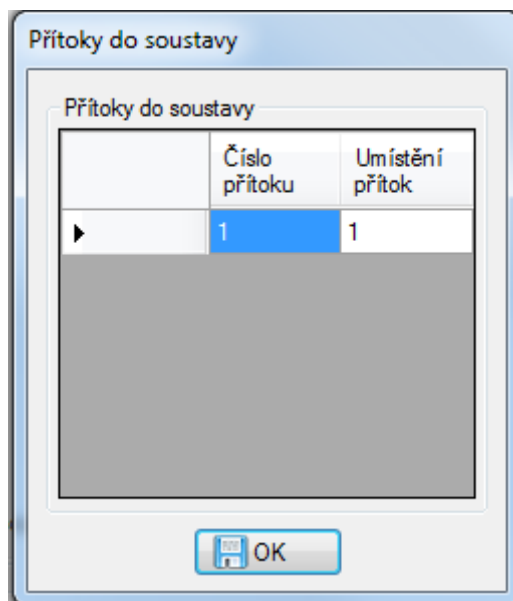


Obr. 14 - Dialogové okno - Umístění odběrů.

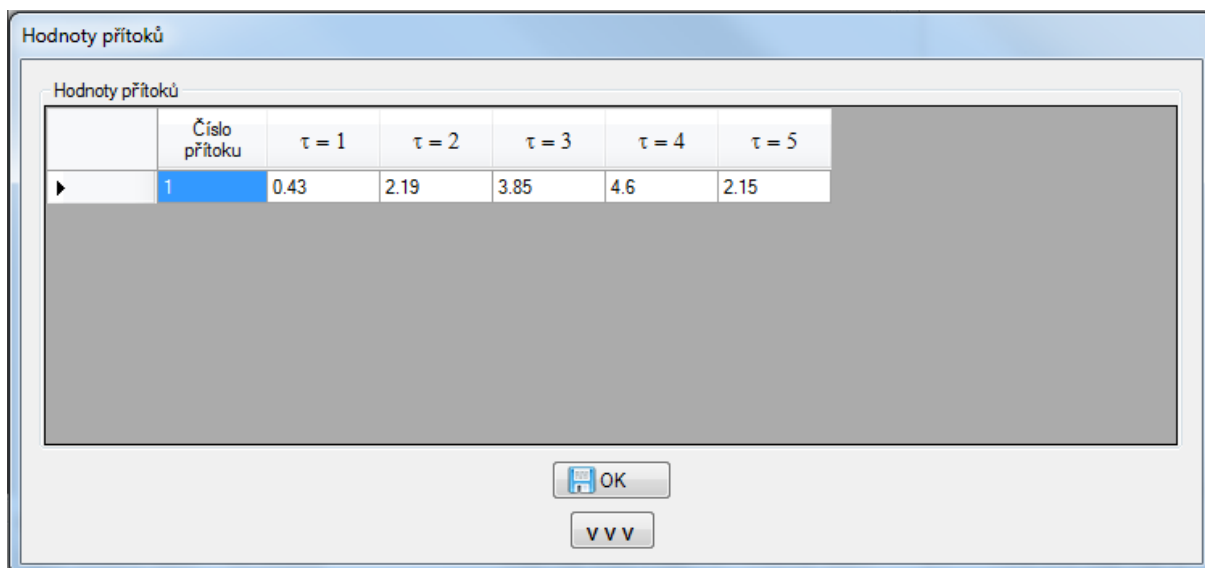


Obr. 15 - Dialogové okno - Maximální a minimální odběry.





*Obr. 16 - Dialogové okno - Umístění přítoku.*



*Obr. 17 - Dialogové okno - Hodnoty přítoků.*

Schematizace soustavy

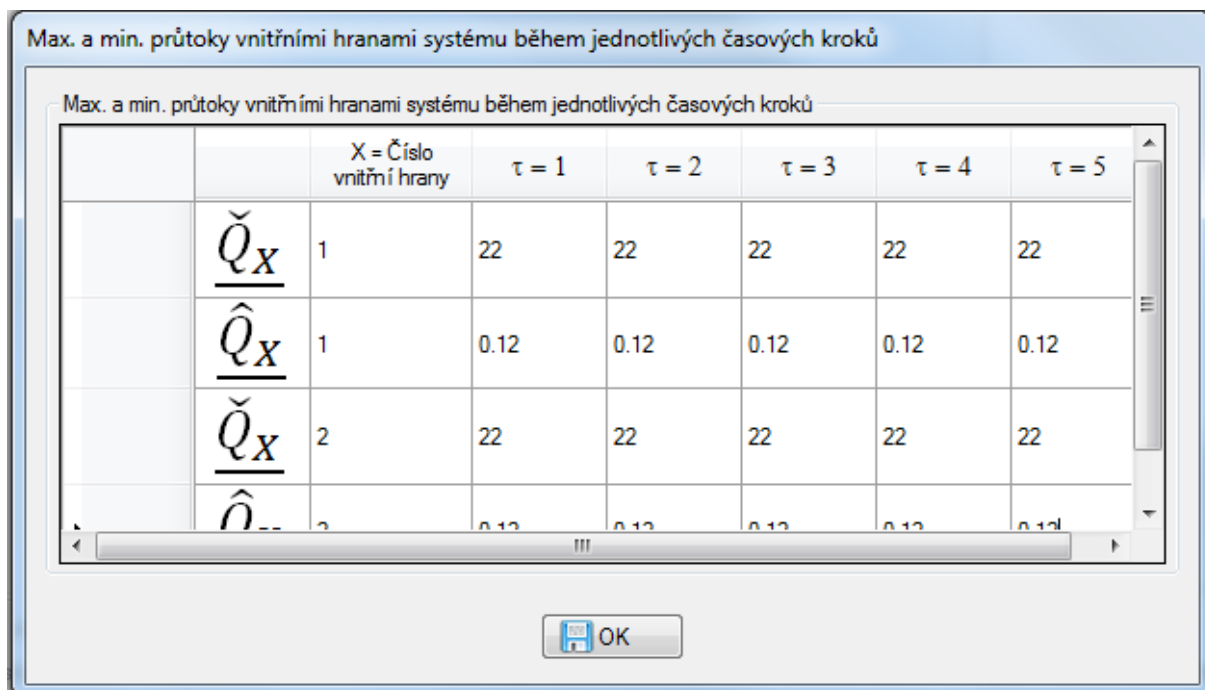
Soubor   Úpravy

Popis jednotlivých úseků soustavy:

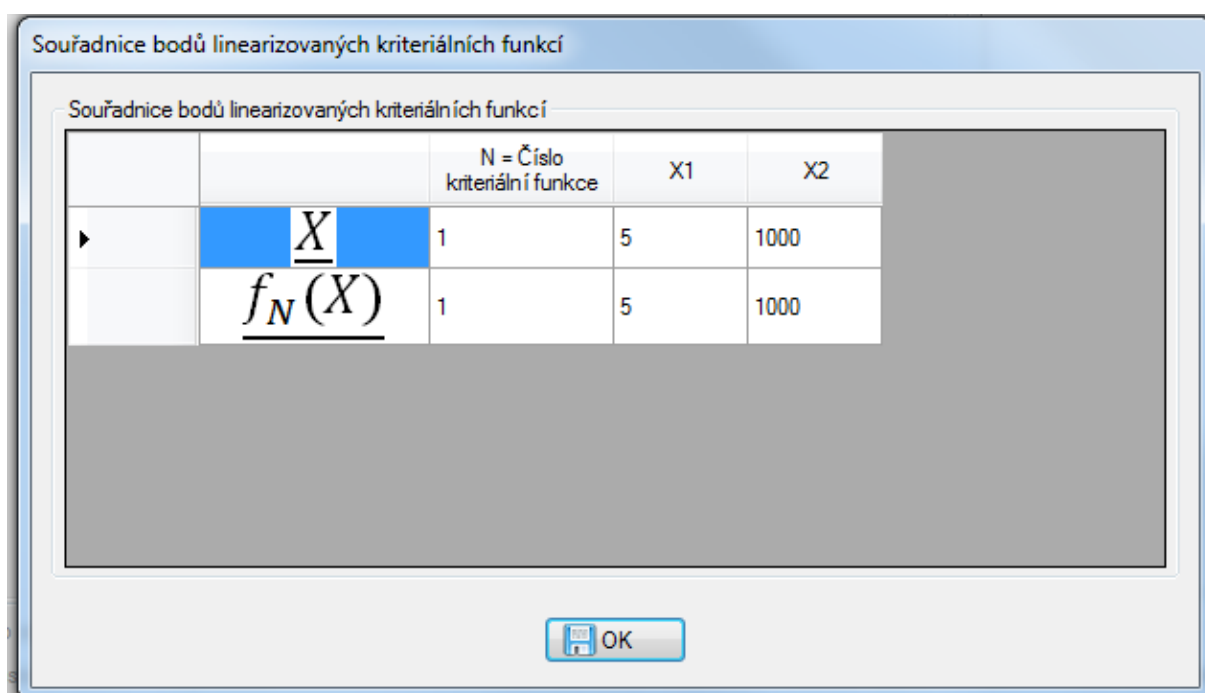
	Číslo vrcholu	Ústí do vrcholu	Číslo nádrže
▶	1	2	0
	2	3	1
	3	0	0
*			

OK

*Obr. 18 - Dialogové okno - Schematizace soustavy.*



Obr. 19 - Dialogové okno - Maximální a minimální průtoky hranami.



Obr. 20 - Dialogové okno - Souřadnice bodů kritériální funkce.

**Nastavení optimalizace**

Způsob určení násady pro nelineární gradientní optimalizační metodu

☐ Odborný odhad
 ☒ Výpočet (DE)
 ☐ Výpočet (MM)

Nastavení optimalizace

	Pořadí		X = Číslo vrcholu	Y = Ústí do vrcholu	Nové pořadí	Násada
►	1	$Q_{X,Y}$	1	2	2	-1
	2	$Q_{X,Y}$	2	3	1	-1
	3	$Q_{X,Y}$	3	fo	3	-1
	4	$O_{X,Y}$	2	o1	4	-1
	5	$V_X$	2	-	5	-1

Parametry diferenciální evoluce

Počet generací: 400
 Mutační konstanta: 0.6

Počet jedinců v populaci: 600
 Práh křížení: 0.7

Parametr mřížkové metody

Hustota mřížky:

OK

*Obr. 21 - Dialogové okno - Finální nastavení.*

#### 4.6 Výsledky

V následující kapitole budou uvedeny výsledky výpočtů. Výsledky jsou zpracovány jednak v tabulkách a jednak pomocí grafů pro lepší znázornění. Výsledky se liší počtem časových kroků  $\tau$  lokálního modelu. V tabulce jsou uvedeny hodnoty  $Q_{1,2}$ , které značí přítok vody do nádrže.  $Q_{2,3}$  a  $Q_{3,0}$  značí vypočtený odtok z nádrže pomocí optimalizačního modelu,  $O_{SM}$ , což značí vypočtený odtok z nádrže pomocí simulačního modelu a nakonec  $V_2$  značí objem nádrže v daném časovém kroku. Písmeno T udává pořadí kroku globálního modelu (simulačního modelu).

V grafu je znázorněn přítok do nádrže modrou spojitou čarou, vypočtený odtok pomocí simulačního modelu červenou přerušovanou čarou, řídicí odtok fialovou spojitou čarou a nakonec vypočtený odtok pomocí optimalizačního modelu je znázorněn zelenou spojitou čarou.

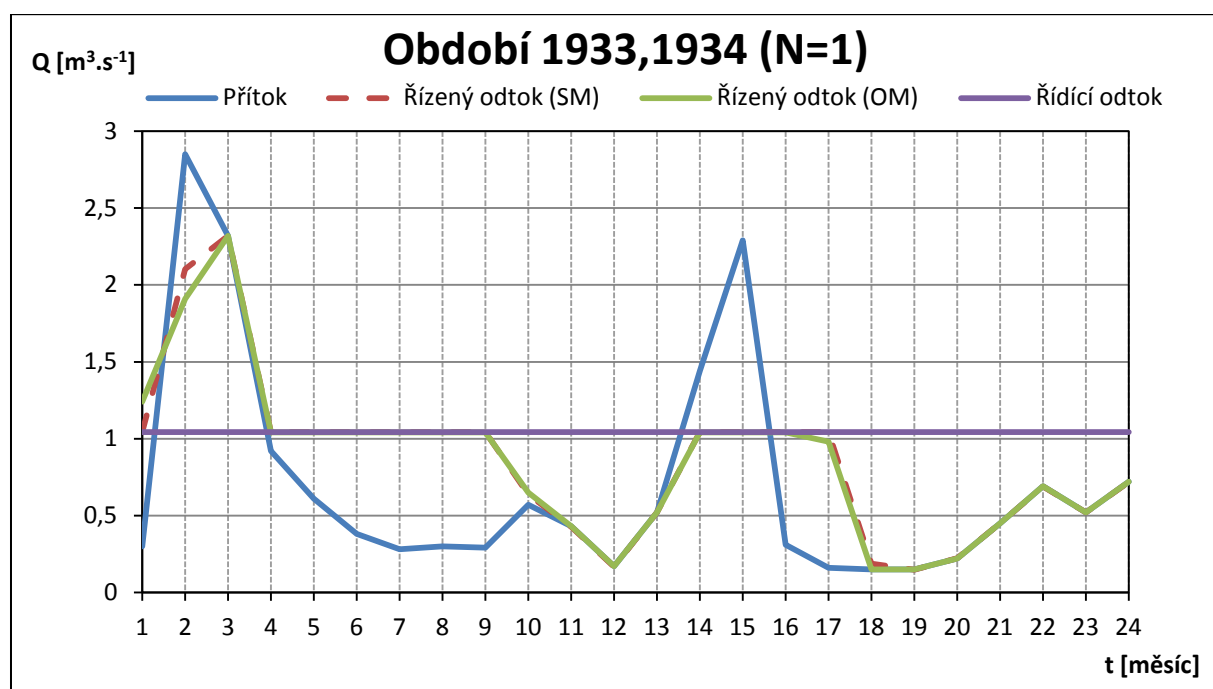
Před interpretací výsledků je nutno podotknout, že pracujeme s průměrnými měsíčními hodnotami. Pro správnou interpretaci by bylo vhodné použít sloupcový graf. Nicméně jsme zvolili graf o dvou proměnných, na němž jsou interpretované výsledky názornější.

#### 4.6.1 Výsledky pro období 1933,1934

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1933,1934. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 1 měsíc.

Tab. 7 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=1).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,24	1,91	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,65	0,43	0,17
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,30	0,29	0,57	0,43	0,17
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,24	1,91	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,65	0,43	0,17
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,00	3,94	3,94	3,82	3,39	2,73	1,97	1,23	0,48	0,40	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,04	2,10	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,64	0,43	0,17
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	0,98	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	0,98	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,70	1,95	1,22	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	0,19	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72

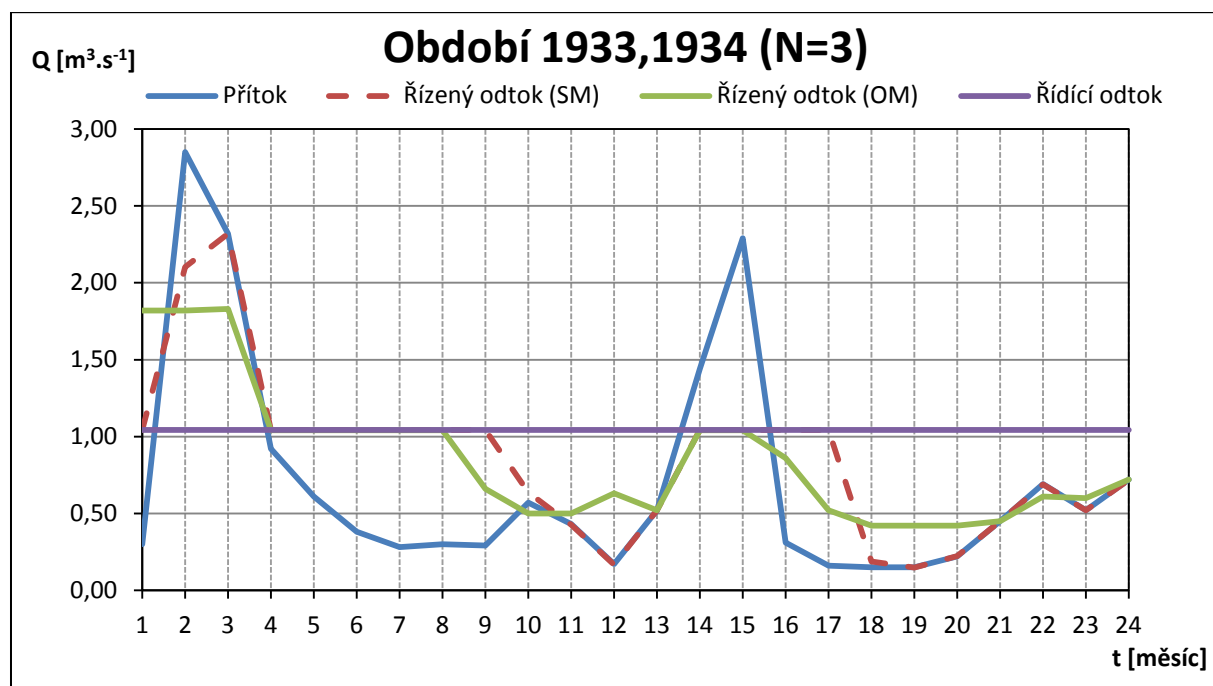


Obr. 22 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=1).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1933,1934. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 3 měsíce.

**Tab. 8 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=3).**

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,66	0,50	0,50	0,63
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,30	0,29	0,57	0,43	0,17
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,66	0,50	0,50	0,63
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	2,42	3,45	3,94	3,82	3,39	2,73	1,97	1,23	0,86	0,93	0,86	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,04	2,10	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,64	0,43	0,17
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	0,86	0,52	0,42	0,42	0,42	0,45	0,61	0,60	0,72
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	0,86	0,52	0,42	0,42	0,42	0,45	0,61	0,60	0,72
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,80	2,05	1,50	1,14	0,87	0,60	0,40	0,40	0,48	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	0,19	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72

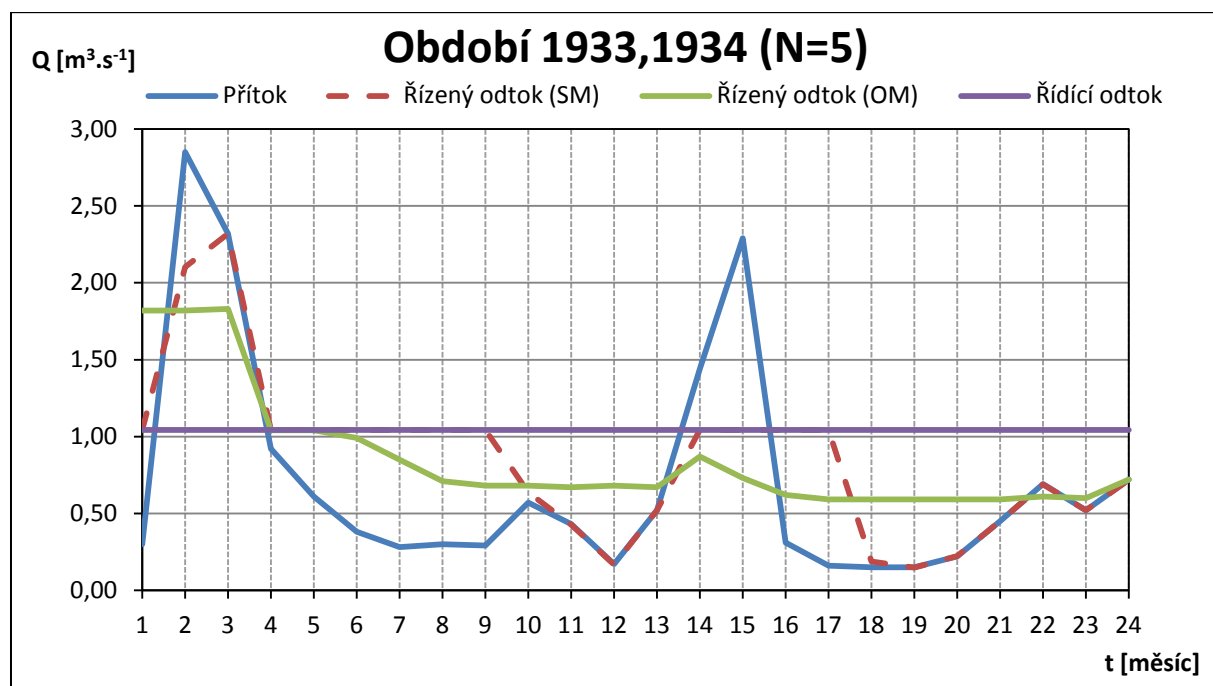


**Obr. 23 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=3).**

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1933,1934. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 5 měsíců.

**Tab. 9 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=5).**

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	1,04	1,04	0,99	0,85	0,71	0,68	0,68	0,67	0,68
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,30	0,29	0,57	0,43	0,17
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	1,04	1,04	0,99	0,85	0,71	0,68	0,68	0,67	0,68
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	2,42	3,45	3,94	3,82	3,39	2,78	2,21	1,80	1,41	1,30	1,06	0,55
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,04	2,10	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,64	0,43	0,17
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,67	0,87	0,73	0,62	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,61	0,60	0,72
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,67	0,87	0,73	0,62	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,61	0,60	0,72
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,97	2,53	2,22	1,79	1,35	0,91	0,54	0,40	0,48	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	0,19	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72



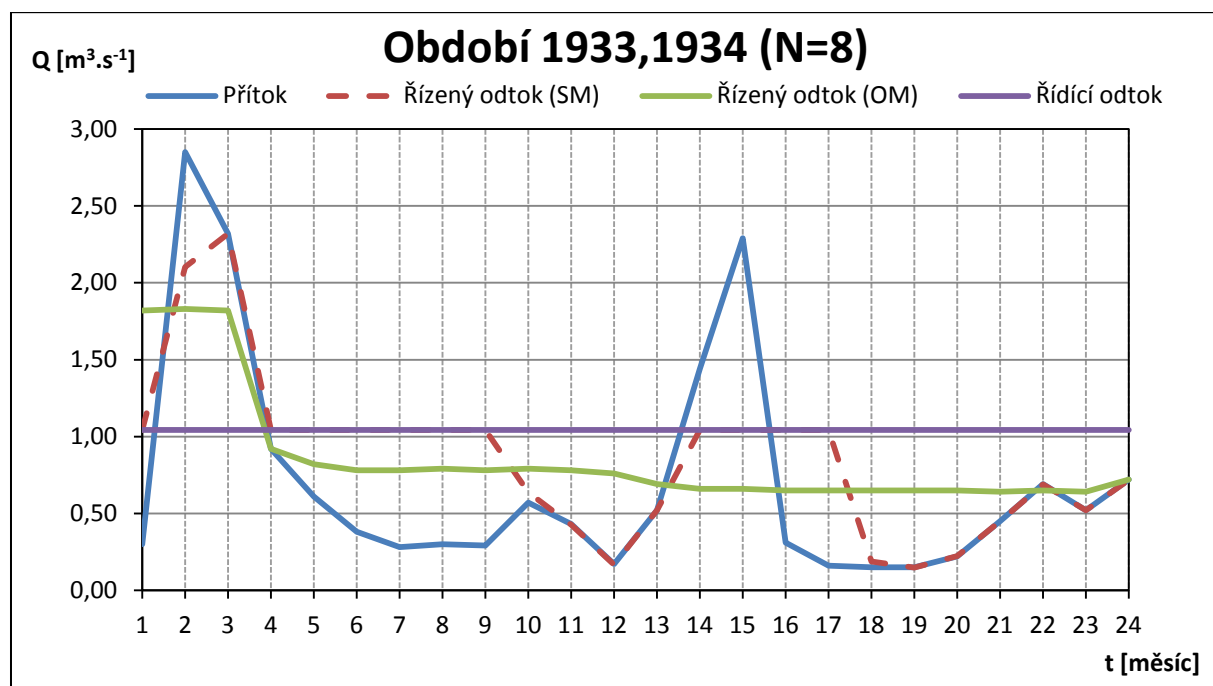
**Obr. 24 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=5).**



V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1933,1934. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 8 měsíců.

**Tab. 10** - Výsledky pro období 1933,1934 ( $N=8$ ).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,83	1,82	0,92	0,82	0,78	0,78	0,79	0,78	0,79	0,78	0,76
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,30	0,29	0,57	0,43	0,17
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,83	1,82	0,92	0,82	0,78	0,78	0,79	0,78	0,79	0,78	0,76
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	2,42	3,44	3,94	3,94	3,73	3,33	2,83	2,34	1,85	1,63	1,28	0,69
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,04	2,10	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,64	0,43	0,17
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,69	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,65	0,64	0,72
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,69	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,65	0,64	0,72
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,30	2,93	2,59	2,10	1,60	1,10	0,67	0,48	0,52	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	0,19	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72

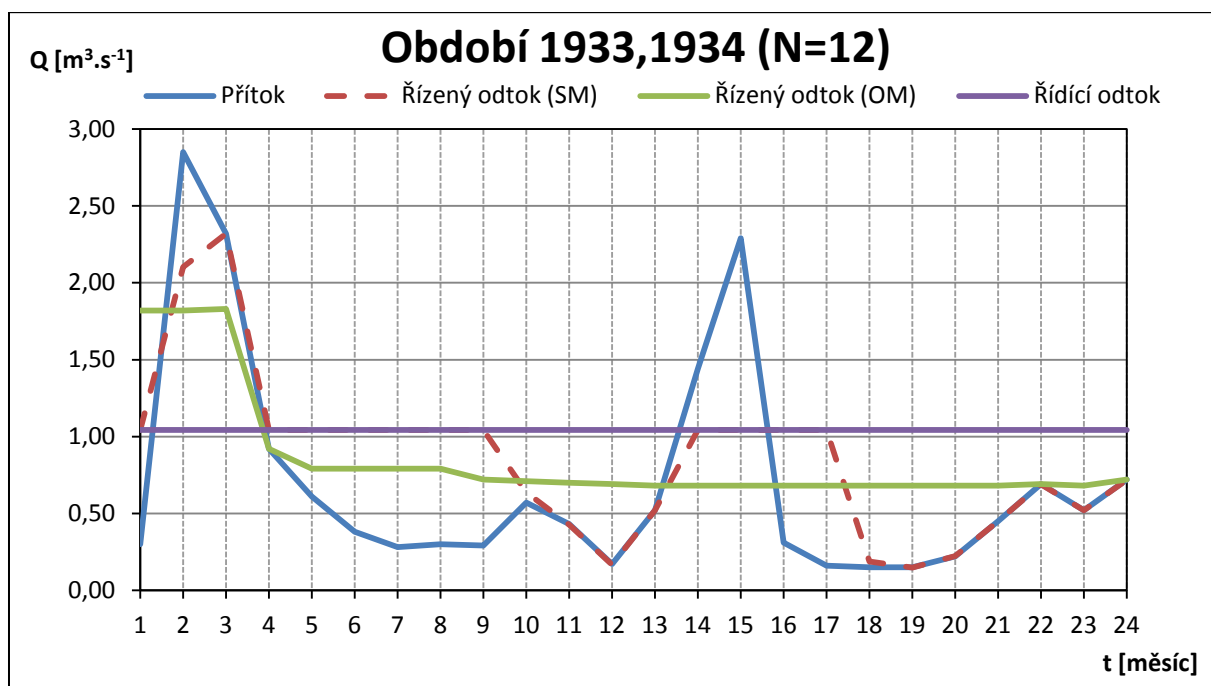


**Obr. 25** - Výsledky pro období 1933,1934 ( $N=8$ ).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1933,1934. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 12 měsíců.

**Tab. 11** - Výsledky pro období 1933,1934 ( $N=12$ ).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	0,92	0,79	0,79	0,79	0,79	0,72	0,71	0,70	0,69
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,30	2,85	2,32	0,92	0,61	0,38	0,28	0,3	0,29	0,57	0,43	0,17
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,82	1,82	1,83	0,92	0,79	0,79	0,79	0,79	0,72	0,71	0,70	0,69
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	2,42	3,45	3,94	3,94	3,76	3,35	2,84	2,35	1,92	1,78	1,51	0,99
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,04	2,10	2,32	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,64	0,43	0,17
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,72
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,44	2,29	0,31	0,16	0,15	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,72
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,83	1,59	3,20	2,83	2,31	1,78	1,25	0,79	0,56	0,56	0,40	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	0,19	0,15	0,22	0,45	0,69	0,52	0,72



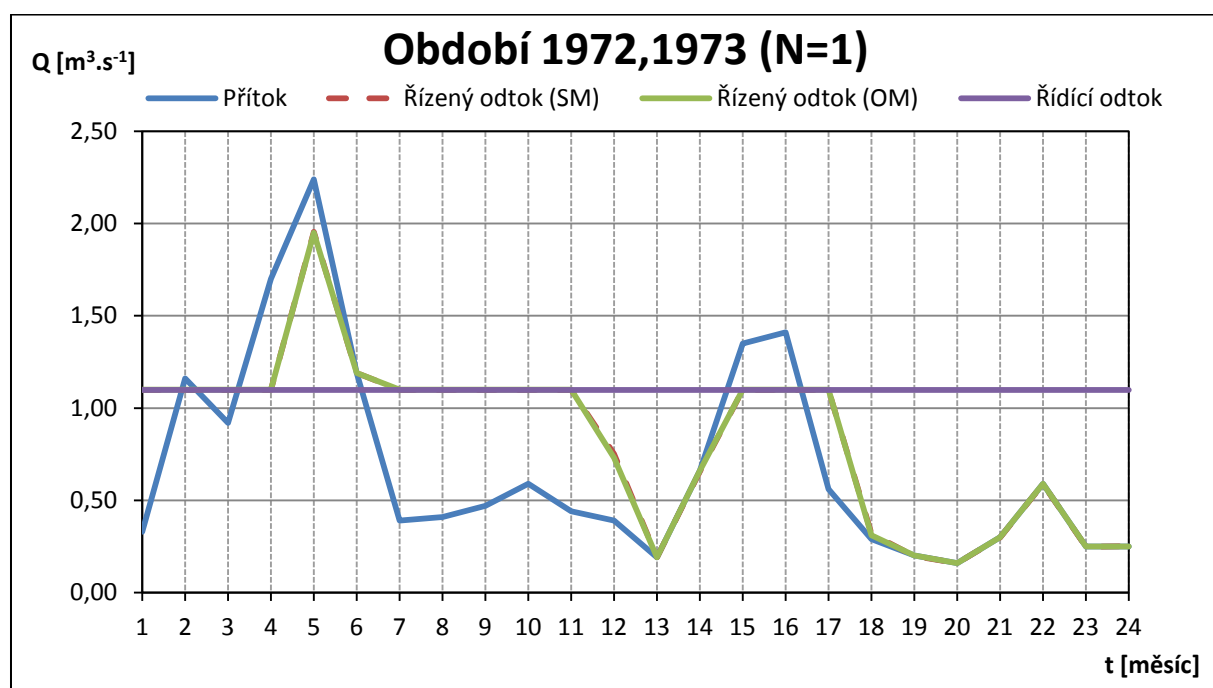
**Obr. 26** - Výsledky pro období 1933,1934 ( $N=12$ ).

#### 4.6.2 Výsledky pro období 1972,1973

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1972,1973. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 1 měsíc.

Tab. 12 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=1).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q <sub>2,3</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,95	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,73
Q <sub>1,2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
Q <sub>3,0</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,95	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,73
V <sub>2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	3,17	3,23	3,05	3,65	3,94	3,94	3,23	2,54	1,91	1,40	0,74	0,40
O <sub>SM</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,96	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,75
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Q <sub>2,3</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,31	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
Q <sub>1,2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,3	0,59	0,25	0,25
Q <sub>3,0</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,31	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
V <sub>2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,40	0,65	0,96	0,42	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
O <sub>SM</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,32	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25

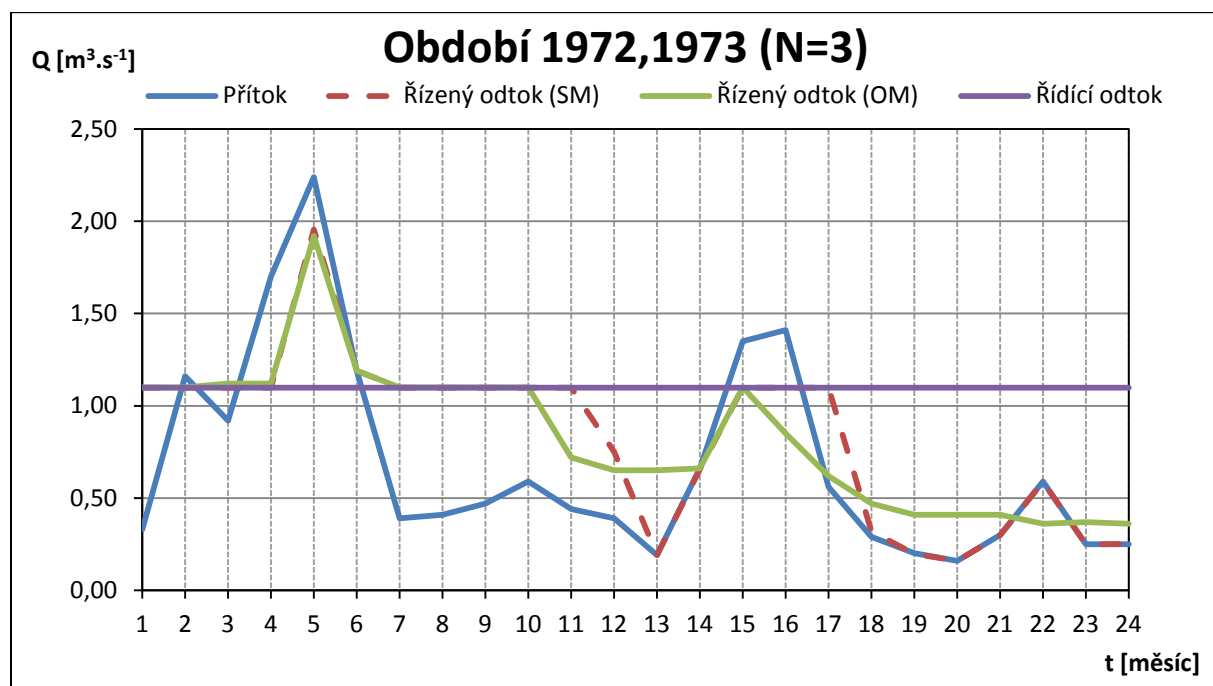


Obr. 27 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=1).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1972,1973. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků 3 měsíce.

**Tab. 13** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=3).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,12	1,12	1,92	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	0,72	0,65
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,12	1,12	1,92	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	0,72	0,65
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,18	3,24	3,04	3,62	3,94	3,94	3,23	2,54	1,91	1,40	1,12	0,86
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,96	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,75
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,65	0,66	1,10	0,85	0,62	0,47	0,41	0,41	0,41	0,36	0,37	0,36
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,65	0,66	1,10	0,85	0,62	0,47	0,41	0,41	0,41	0,36	0,37	0,36
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,40	0,65	1,21	1,15	0,97	0,76	0,51	0,40	0,63	0,51	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,32	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25

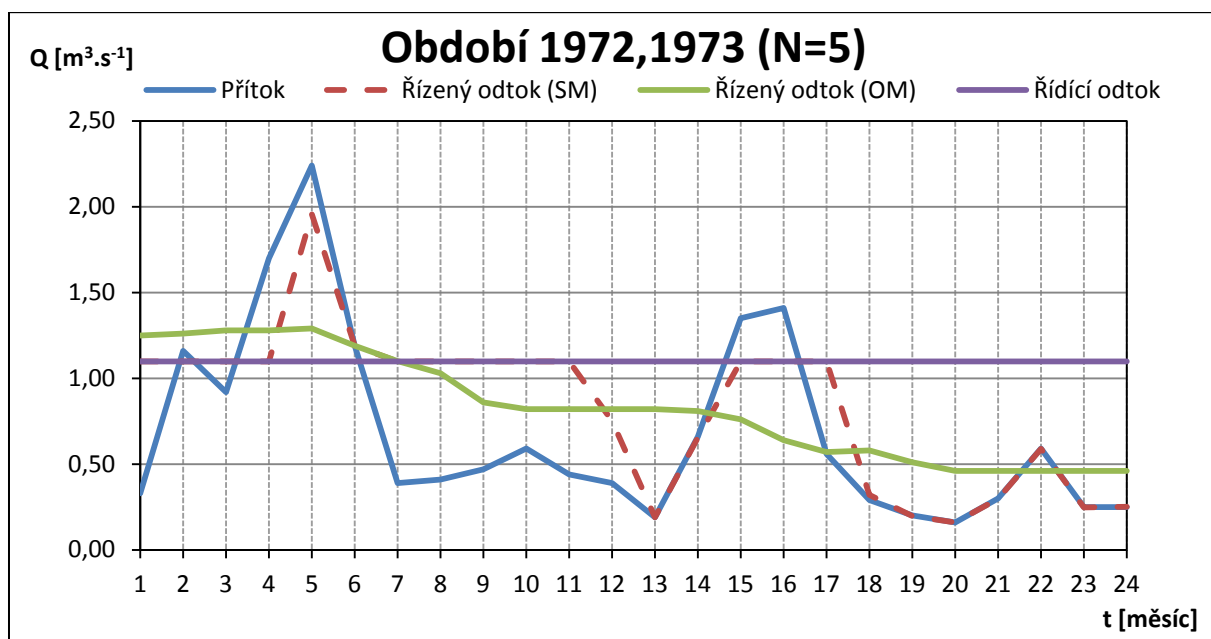


**Obr. 28** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=3).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1972,1973. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 5 měsíců.

**Tab. 14 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=5).**

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,25	1,26	1,28	1,28	1,29	1,19	1,10	1,03	0,86	0,82	0,82	0,82
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,25	1,26	1,28	1,28	1,29	1,19	1,10	1,03	0,86	0,82	0,82	0,82
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,02	2,92	2,56	2,99	3,94	3,94	3,23	2,61	2,22	1,99	1,61	1,18
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,96	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,75
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,82	0,81	0,76	0,64	0,57	0,58	0,51	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,82	0,81	0,76	0,64	0,57	0,58	0,51	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,55	0,40	0,99	1,76	1,75	1,46	1,15	0,85	0,69	0,82	0,61	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,32	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25

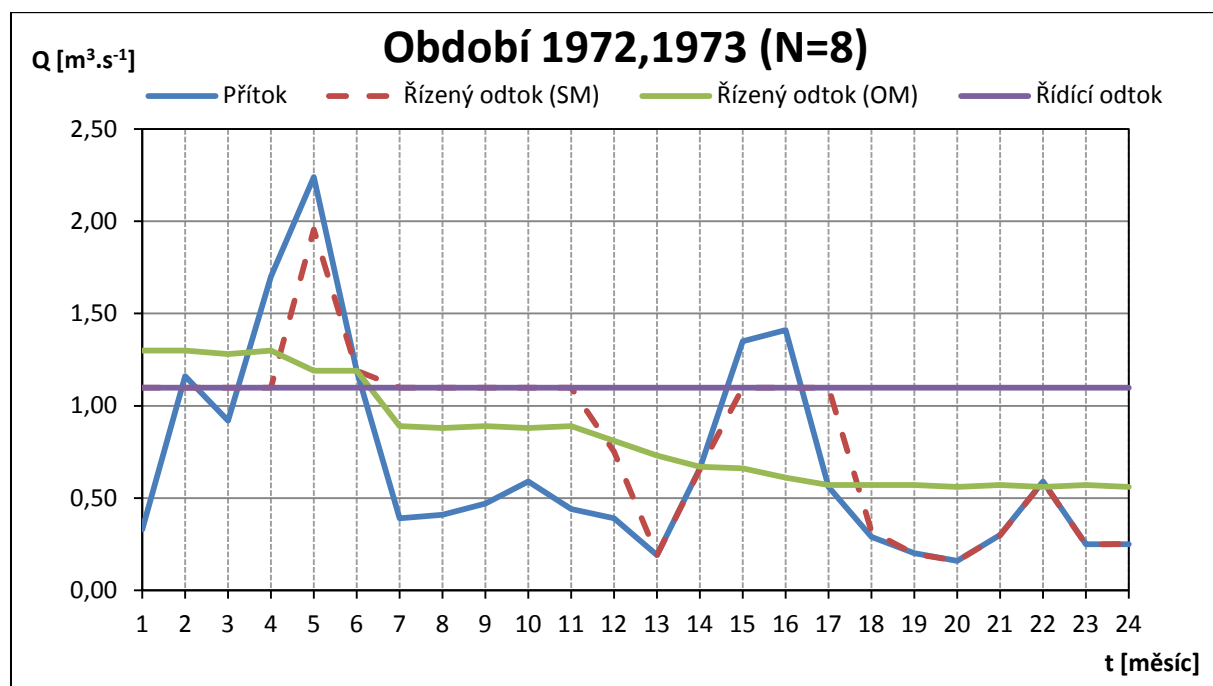


**Obr. 29 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=5).**

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1972,1973. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 8 měsíců.

**Tab. 15** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=8).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,30	1,30	1,28	1,30	1,19	1,19	0,89	0,88	0,89	0,88	0,89	0,81
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,30	1,30	1,28	1,30	1,19	1,19	0,89	0,88	0,89	0,88	0,89	0,81
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	2,98	2,85	2,49	2,89	3,94	3,94	3,44	2,97	2,55	2,26	1,81	1,39
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,96	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,75
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57	0,57	0,57	0,56	0,57	0,56	0,57	0,56
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57	0,57	0,57	0,56	0,57	0,56	0,57	0,56
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,85	0,84	1,53	2,33	2,32	2,04	1,67	1,27	1,00	1,03	0,71	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,32	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25

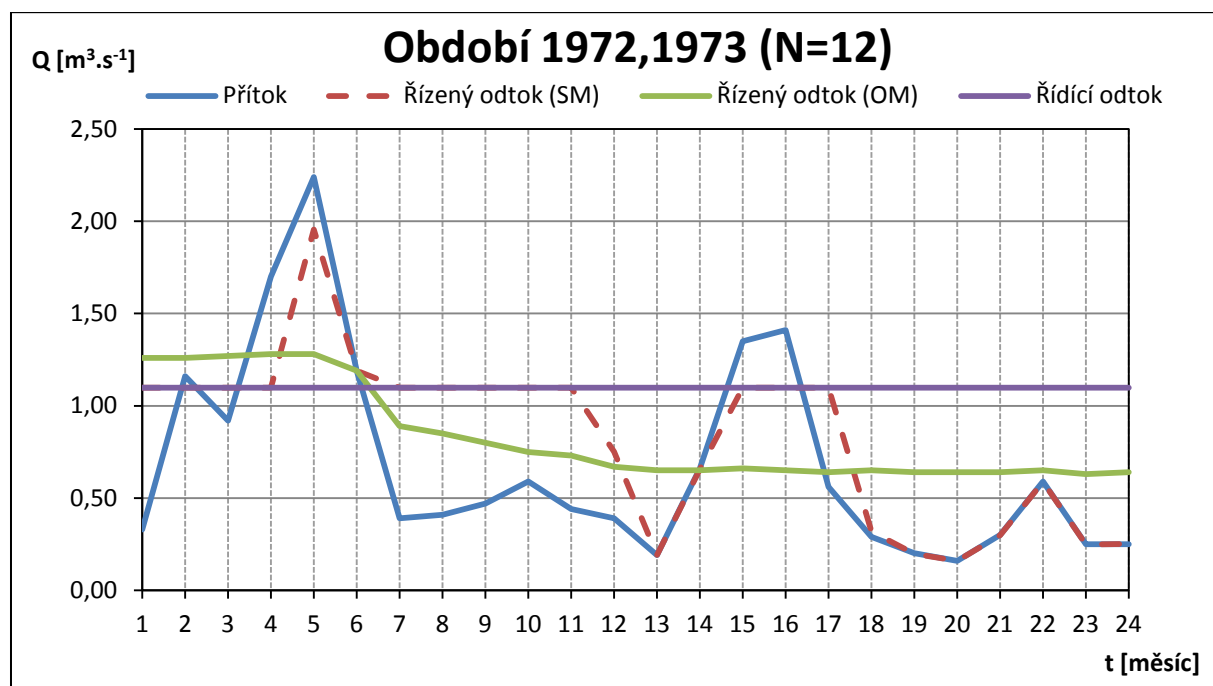


**Obr. 30** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=8).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1972,1973. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 12 měsíců.

**Tab. 16** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=12).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,26	1,26	1,27	1,28	1,28	1,19	0,89	0,85	0,80	0,75	0,73	0,67
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,33	1,16	0,92	1,70	2,24	1,19	0,39	0,41	0,47	0,59	0,44	0,39
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,26	1,26	1,27	1,28	1,28	1,19	0,89	0,85	0,80	0,75	0,73	0,67
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,01	2,91	2,56	2,98	3,94	3,94	3,44	3,00	2,67	2,51	2,22	1,94
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,96	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,75
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,65	0,65	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,64	0,64	0,65	0,63	0,64
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,35	1,41	0,56	0,29	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,65	0,65	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,64	0,64	0,65	0,63	0,64
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	1,48	1,49	2,18	2,94	2,86	2,50	2,06	1,58	1,24	1,18	0,80	0,41
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,66	1,10	1,10	1,10	0,32	0,20	0,16	0,30	0,59	0,25	0,25



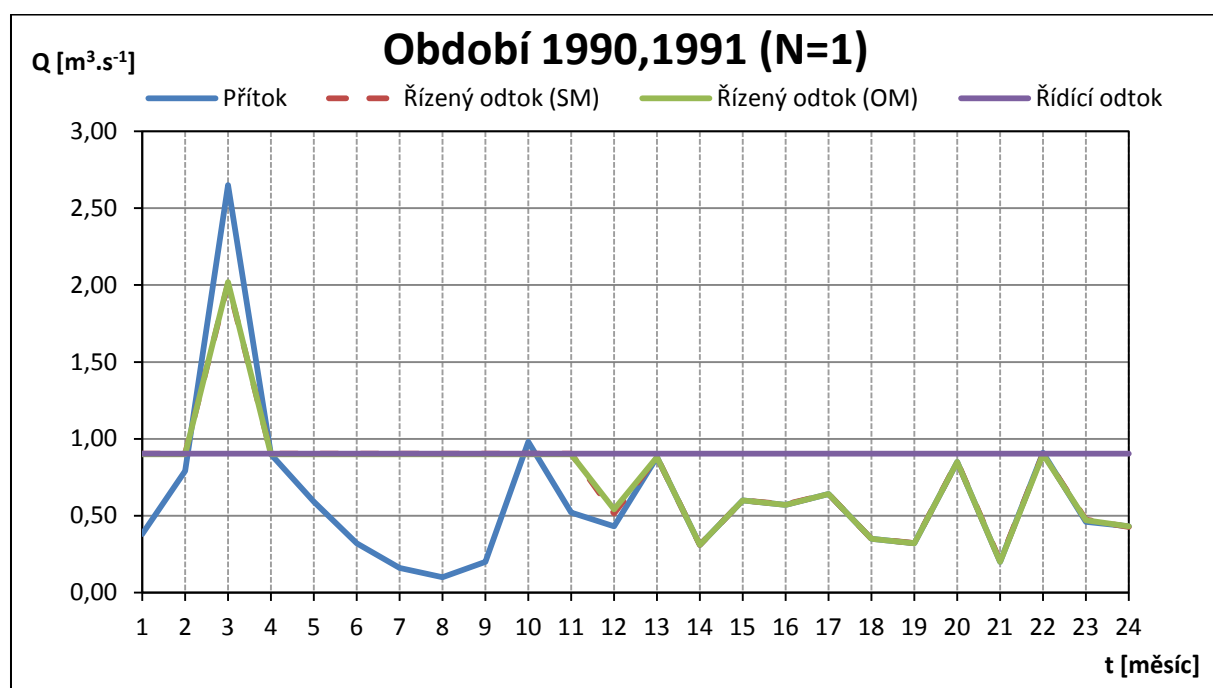
**Obr. 31** - Výsledky pro období 1972,1973 (N=12).

### 4.6.3 Výsledky pro období 1990,1991

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1990,1991. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 1 měsíc.

Tab. 17 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=1).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q <sub>2,3</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,02	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,54
Q <sub>1,2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
Q <sub>3,0</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,02	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,54
V <sub>2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	3,42	3,31	3,94	3,94	3,63	3,05	2,31	1,51	0,81	0,89	0,51	0,40
O <sub>SM</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,51
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Q <sub>2,3</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43
Q <sub>1,2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43
Q <sub>3,0</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43
V <sub>2</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40
O <sub>SM</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43



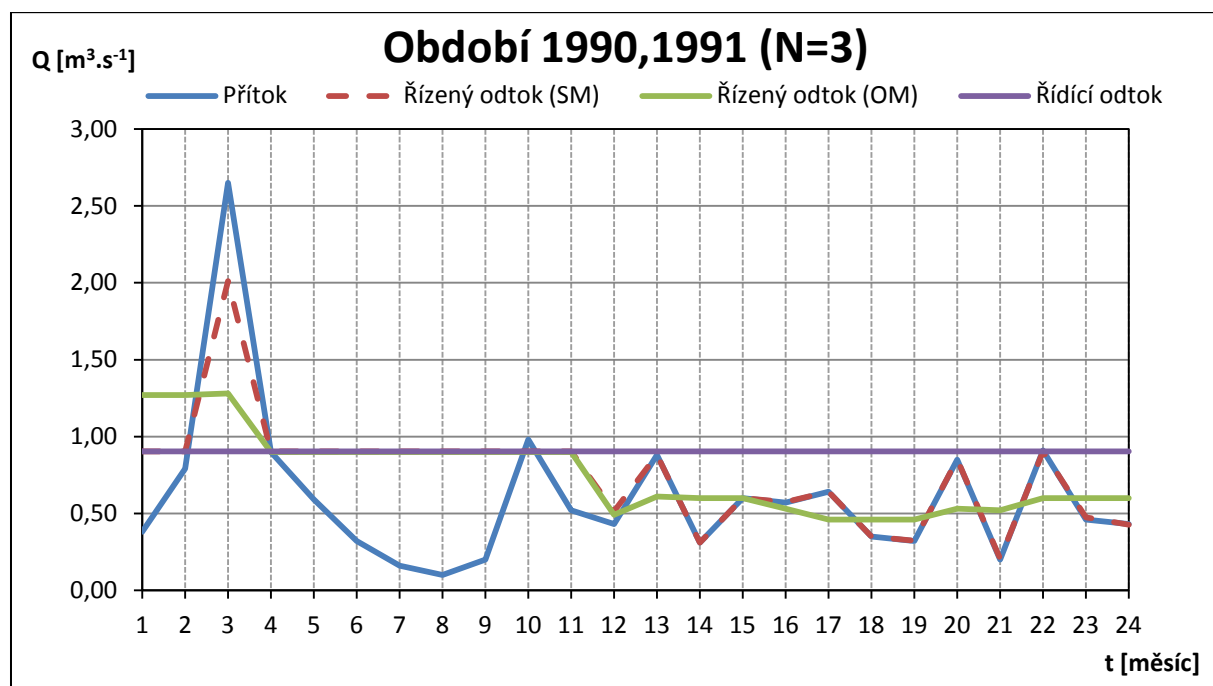
Obr. 32 - Výsledky pro období (N=1).



V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1990,1991. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 3 měsíce.

**Tab. 18** - Výsledky pro období 1990,1991 ( $N=3$ ).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,49
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,49
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,05	2,57	3,94	3,94	3,63	3,05	2,31	1,51	0,81	0,89	0,51	0,45
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,51
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,61	0,60	0,60	0,53	0,46	0,46	0,46	0,53	0,52	0,60	0,60	0,60
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,61	0,60	0,60	0,53	0,46	0,46	0,46	0,53	0,52	0,60	0,60	0,60
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,72	0,43	0,43	0,47	0,65	0,54	0,40	0,72	0,40	0,71	0,57	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43

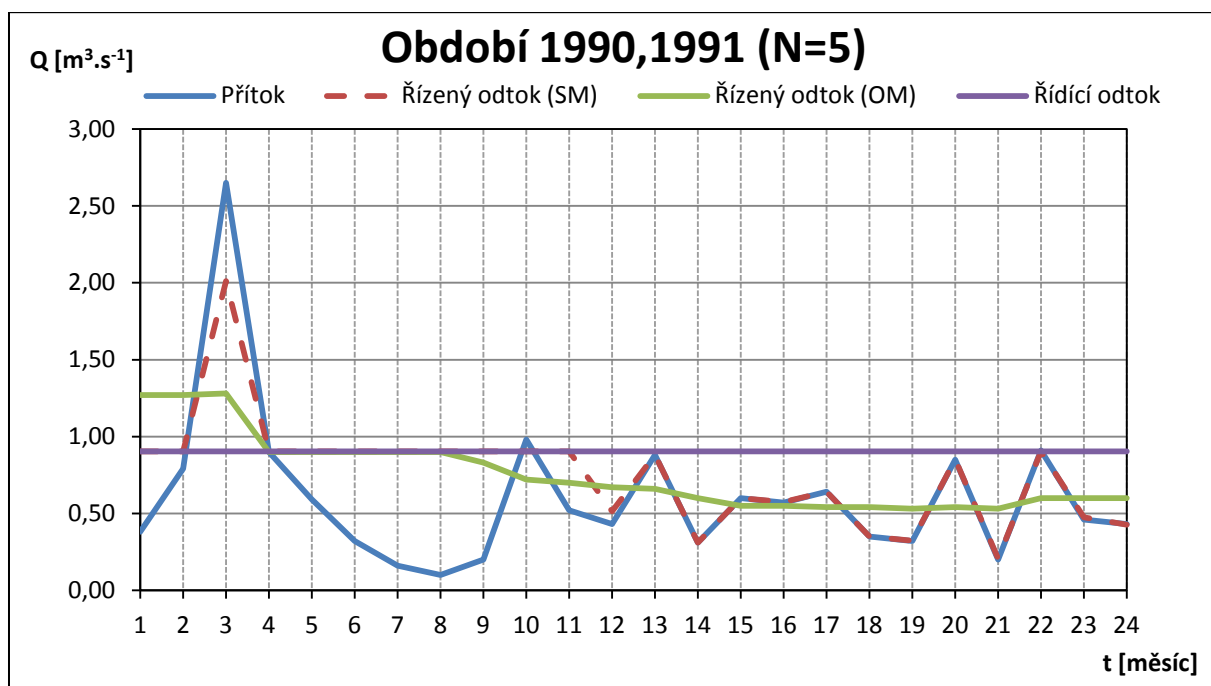


**Obr. 33** - Výsledky pro období 1990,1991 ( $N=3$ ).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1990,1991. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 5 měsíců.

**Tab. 19** - Výsledky pro období 1990,1991 ( $N=5$ ).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,83	0,72	0,70	0,67
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,83	0,72	0,70	0,67
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,05	2,57	3,94	3,94	3,63	3,05	2,31	1,51	0,88	1,14	0,96	0,72
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,51
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,66	0,60	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,54	0,53	0,60	0,60	0,60
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,66	0,60	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,54	0,53	0,60	0,60	0,60
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	0,94	0,65	0,70	0,72	0,82	0,63	0,42	0,73	0,40	0,71	0,57	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43

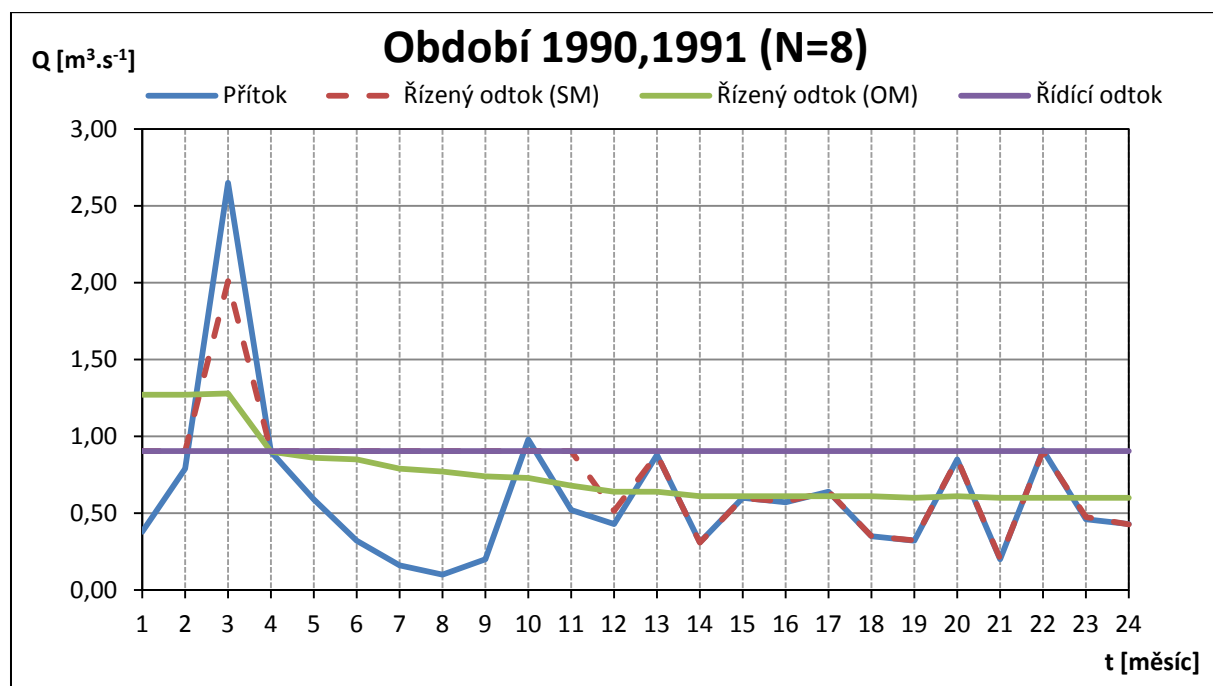


**Obr. 34** - Výsledky pro období 1990,1991 ( $N=5$ ).

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1990,1991. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 8 měsíců.

*Tab. 20 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=8).*

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,86	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,68	0,64
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,90	0,86	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,68	0,64
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,05	2,57	3,94	3,94	3,67	3,14	2,51	1,84	1,30	1,55	1,39	1,18
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,51
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,64	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,64	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	1,42	1,12	1,11	1,07	1,10	0,84	0,56	0,80	0,40	0,71	0,57	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43

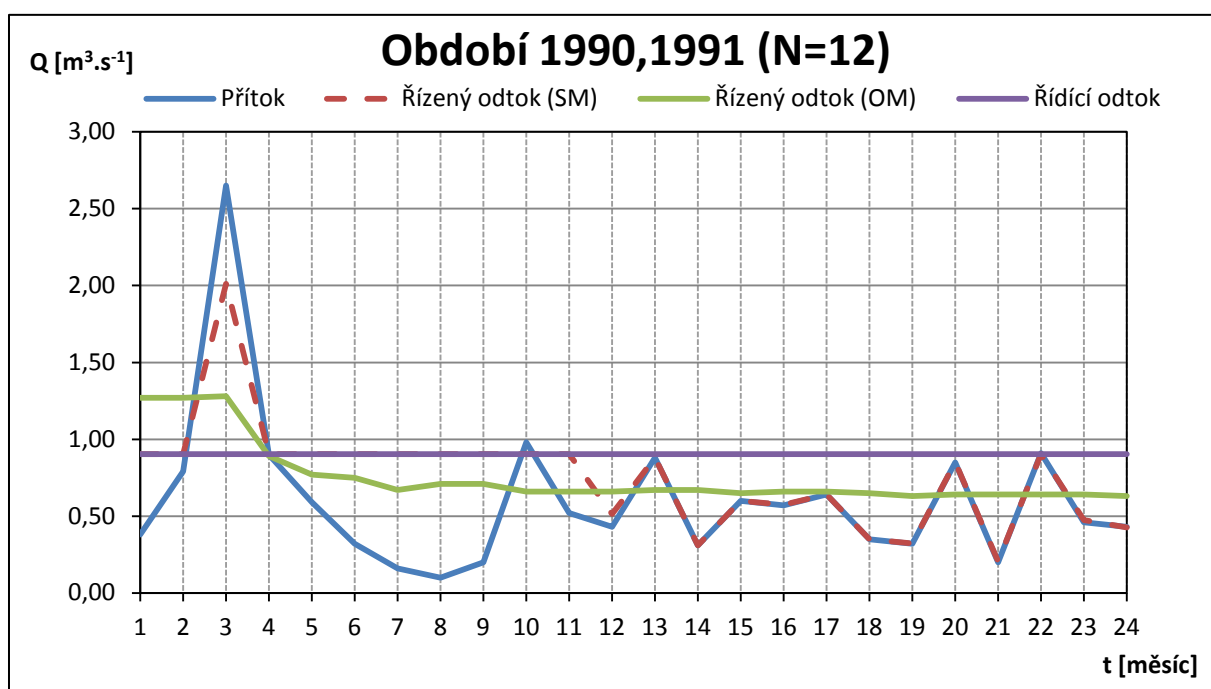


*Obr. 35 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=8).*

V tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky pro období 1990,1991. Optimalizace proběhla s počtem časových kroků lokálního modelu 12 měsíců.

**Tab. 21** - Výsledky pro období 1990,1991 (N=12).

T		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,89	0,77	0,75	0,67	0,71	0,71	0,66	0,66	0,66
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,79	2,65	0,90	0,59	0,32	0,16	0,10	0,20	0,98	0,52	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	1,27	1,27	1,28	0,89	0,77	0,75	0,67	0,71	0,71	0,66	0,66	0,66
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	3,05	2,57	3,94	3,95	3,77	3,34	2,83	2,22	1,71	2,03	1,89	1,66
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,90	0,90	2,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,51
T		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{2,3}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,67	0,67	0,65	0,66	0,66	0,65	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
$Q_{1,2}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,91	0,46	0,43
$Q_{3,0}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,67	0,67	0,65	0,66	0,66	0,65	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
$V_2$	[m <sup>3</sup> /s]	1,87	1,51	1,46	1,37	1,35	1,05	0,74	0,95	0,51	0,78	0,60	0,40
$O_{SM}$	[m <sup>3</sup> /s]	0,88	0,31	0,60	0,57	0,64	0,35	0,32	0,85	0,20	0,90	0,47	0,43



**Obr. 36** - Výsledky pro období 1990,1991 (N=12).

## 5. Shrnutí výsledků

Výpočty byly provedeny celkem pro 5 lokálních modelů ve třech různých časových obdobích (globálních modelech). Jednotlivé lokální modely se lišily počtem časových kroků neboli délkou předpovědi. Jednalo se o výhled na 1, 3, 5, 8 nebo 12 časových kroků (měsíců). Průběh výsledků z globálních modelů pro shodné časové kroky je podobný, a proto je podrobný popis výsledků řízení proveden pouze na jednom období a to na letech 1933, 1934.

Při zvolené délce předpovědi, jeden měsíc, má řídicí odtok hodnotu  $1,043 \text{ m}^3/\text{s}$ . V prvních čtyřech měsících jsou velké přítoky, proto řízený odtok přesahuje hodnotu řídicího odtoku. Od dubna roku 1933 ( $T=4$ ) přítoky do nádrže klesají, nicméně díky dostatku vody v nádrži je vypouštěna hodnota rovna řídicímu odtoku. Od září 1933 ( $T=9$ ) je z nádrže vypouštěno to, co do ní natéká. V období od února 1934 ( $T=14$ ) je do měsíce května ( $T=17$ ) vypouštěna hodnota rovna řídicímu odtoku, následně již díky nízkým přítokům do nádrže vypouštíme pouze to, co přiteče.

Volená délka předpovědi je tři měsíce. Díky velkým přítokům v prvních čtyřech měsících jsou hodnoty řízeného odtoku vyšší než řídicí odtok z nádrže. Od dubna ( $T=4$ ) je vypouštěna hodnota řídicího odtoku z nádrže, shodně jako v předchozí variantě. V tomto případě však pouze do srpna 1933 ( $T=8$ ), pak dochází k poklesu. Pokles je zapříčiněn nedostatkem vody v následujících měsících. V následujících měsících je hodnota odtoku z nádrže nižší než hodnota řídicího odtoku. V únoru ( $T=14$ ) a březnu 1934 ( $T=15$ ) bude při vypouštění dodržena hodnota řídicího odtoku, následně dojde k poklesu až do konce období. Rozdíl mezi variantou s výhledem na tři časové kroky a variantou s výhledem na jeden časový krok je v tom, že snížíme hloubku poruch v jednotlivých měsících.

Volená délka předpovědi je pět měsíců. Začátek řízení proběhne stejně jako u předchozích variant. Díky dostatku vody je z nádrže vypouštěno větší množství vody, než odpovídá řídicímu odtoku. Od dubna ( $T=4$ ) do května roku 1933 ( $T=5$ ) je vypouštěna z nádrže hodnota rovna řídicímu odtoku. Toto období je opět kratší než u minulé varianty, protože má model výhled na delší časový krok a snaží se zmírnit poruchy. Následně jsou již řízené odtoky menší než řídicí odtok. Hloubka poruch je ovšem menší než u variant s menším výhledem.

Volená délka předpovědi je osm měsíců. V prvních čtyřech měsících roku 1933 je z nádrže vypouštěno větší množství vody než při řídicím přítoku. Následně dojde k poklesu a po zbytek období je řízený odtok menší než řídicí.

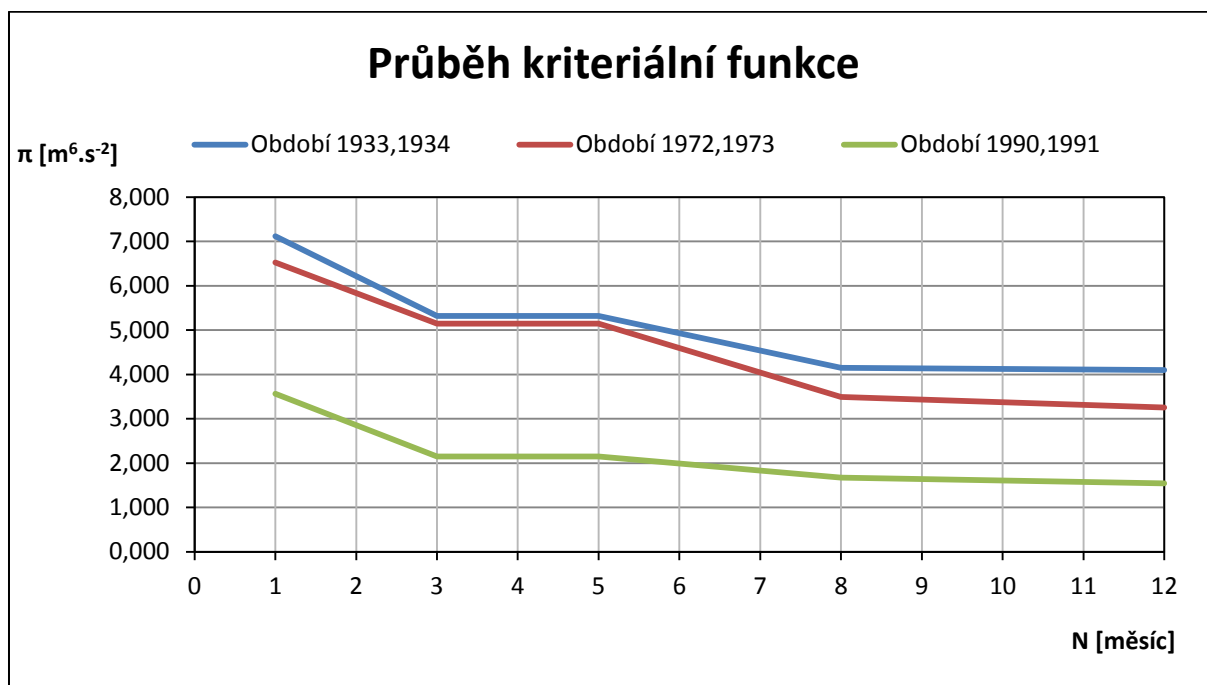
Volená délka předpovědi je dvanáct měsíců. Poslední varianta je podobná jako předchozí s výhledem na osm časových kroků. V počátku je dostatek vody díky vysokým přítokům do nádrže. Následně hodnota řízeného odtoku klesne pod hodnotu řídicího. Nutno podotknout, že řízení s výhledem na delší dobu je nejlepší, protože nedochází k tvorbě velkých poruch a odtok z nádrže je stálejší.

Skutečnost, že řízení s delším výhledem způsobuje menší poruchy, potvrzuje i výpočet kritériální funkce podle rovnice (18). Nutno ovšem podotknout, že kroky lokálního modelu jsou nahrazeny kroky modelu globálního. Hodnota kritériální funkce vypočtená pro simulační model má hodnotu  $7,404 \text{ m}^6/\text{s}^2$ . Hodnoty vypočtené pro optimalizační model jsou uvedeny v tab. 22.

**Tab. 22 - Hodnoty kritériální funkce**

Období	$\pi$ [m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]				
	N = 1	N = 3	N = 5	N = 8	N=12
1933,1934	7,117	5,318	5,318	4,150	4,102
1972,1973	6,526	5,145	5,145	3,491	3,253
1990,1991	3,565	2,148	2,148	1,673	1,546

Hodnoty kritériální funkce jsou pro lepší interpretaci znázorněny i graficky na obr. 37. Modrou plnou čarou jsou znázorněny výsledky kritériální funkce pro období 1933,1934. Červenou plnou čarou jsou znázorněny výsledky pro období 1972,1973 a zelenou plnou čarou výsledky pro období 1990,1991. Na obrázku je vidět, že čím je předpověď delší, tím dosahuje hodnota  $\pi$  menších hodnot.



**Obr. 37 - Průběh kritériální funkce**

## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit optimalizační model nádrže Mostiště. Model byl vytvořen v programu SOMVS. Následně byla ověřena funkčnost vytvořeného modelu při řízení provozu zásobní funkce nádrže během málovodného období. Málovodné období bylo vybráno z historické řady průměrných měsíčních průtoků. Při řízení odtoku vody z nádrže během vybraného období byl uplatněn princip adaptivního řízení. Adaptivní řízení pracuje na dvou úrovních neboli modelech. První úroveň odpovídá optimalizačnímu modelu, který hledá velikost odtoku vody z nádrže pomocí optimalizační metody pro různé délky předpovědi. Druhou úroveň představuje globální model, který odpovídá simulačnímu modelu. Na úrovni globálního modelu je aplikován princip adaptace.

Počet kroků globálního modelu je vždy volen stejně a má hodnotu 24 časových kroků neboli měsíců. Výběr proběhl z historické řady průměrných měsíčních průtoků v měrném profilu Dolní Bory, která byla poskytnuta ČHMÚ. Řada byla dlouhá 86 let (1925 – 2010). Snahou bylo vybrat několik málovodných období tak, aby byla prokázána funkčnost optimalizačního modelu. Nakonec došlo k výběru celkem tří málovodných období. Jednalo se o roky 1933, 1934, 1972, 1973 a 1990, 1991.

Počet kroků lokálního modelu se při výpočtech měnil. Po dohodě bylo řízení provedeno pro počet časových kroků lokálního modelu 1, 3, 5, 8 a 12.

Dále v bakalářské práci byl vytvořen simulační model, který sloužil k řízení na nalepšený odtok. Pomocí tohoto modelu došlo k výběru hodnoty řídicího odtoku, který sloužil jako vstupní hodnota pro výpočty programem SOMVS. Hodnota řídicího odtoku je rovna součtu odtoku z nádrže a odběru, jelikož žádné z nich nepřihazujeme zvýšenou prioritu. Výpočty provedené simulačním modelem byly následně použity pro porovnání s výsledky z řízení používající optimalizační model.

V rámci práce je řešeno celkem 15 variant řešení. Celkem výpočty aplikujeme na třech globálních modelech, které se liší v lokálních modelech. Lokálních modelů máme celkem pět.

Z výsledků vyplývá, že při řízení optimalizačním modelem vznikají menší poruchy než při řízení pomocí simulačního modelu. Přitom platí pravidlo, že čím více má lokální model časových kroků, tím menší vznikají poruchy. Toto pravidlo potvrzuje skutečnost, že řízení na nalepšený odtok patří k nejjednodušším způsobům řízení. Lze si všimnout, že výpočty pomocí optimalizačního modelu s výhledem na jeden časový krok jsou téměř shodné s výpočty pomocí simulačního modelu. Je to logické, protože simulační model pracuje z měsíce na měsíc stejně jako optimalizační model s výhledem na jeden časový krok. Dále lze konstatovat, že vzrůstající počet časových kroků lokálního modelu zvyšuje počet poruchových měsíců. Dále můžeme říci, že se vzrůstajícím počtem poruchových měsíců nám klesá hloubka poruch. Tato skutečnost byla prokázána výpočtem kritériální funkce, jehož výsledky jsou uvedeny v tab. 22.

V závěru je nutno podotknout, že jsme pracovali s historickou řadou průměrných měsíčních průtoků. To znamená, že jsme měli 100% zabezpečení. V praxi by se ovšem pracovalo s různými předpovědními modely, což by ovlivnilo výsledky. Přesnost řízení by potom záležela i na zvoleném předpovědním modelu.

## 7. Seznam použitých zdrojů

VD Mostiště. *Povodí Moravy* [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/mostiste/>

MENŠÍK, Pavel. *Automatizace řešení zásobní funkce vodohospodářské soustavy*. Brno, 2012. Disertační práce. Vysoké učení technické.

STARÝ, M., Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01), Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2006

STARÝ, M., Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02), Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2006

Povodí Moravy, s.p. *Manipulační řád pro vodní dílo Mostiště na řece Oslavě v km 65,948*. Brno, 2013

MENŠÍK, P.; STARÝ, M.: SOMVS; SOMVS – *Simulační a Optimalizační Model Vodohospodářské Soustavy*. URL: [http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php.\(software\)](http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php.(software)).

Starý, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. 1.vyd. Brno: VUT, 1986.

Patera, A. Vodní stavby v postmoderní době. *Vodní hospodářství*, 1996, roč. 45, č. 2-3, s. 92-95. ISSN 1211-0760.

Zelinka, I. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. BEN, 2002, 232 s. ISBN 80-7300-069-5

MICHALOVÁ, Lucie. *Řízení vybrané vodohospodářské soustavy pomocí optimalizačního modelu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT.



## 8. Seznam použitých obrázků

Obr. 1 - Nádrž Mostiště ( <a href="http://www.obecnetin.cz">www.obecnetin.cz</a> ).....	1
Obr. 2 - Vodní nádrž Mostiště ( <a href="http://www.google.cz/maps">www.google.cz/maps</a> ).....	2
Obr. 3 - Příklad orientovaného grafu.....	6
Obr. 4 - Průměrné roční průtoky v MP Dolní Bory. ....	12
Obr. 5 - Průměrné roční objemy v MP Dolní Bory.....	12
Obr. 6 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1933,1934. .	13
Obr. 7 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1972,1973. .	14
Obr. 8 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků v MP Dolní Bory v letech 1990,1991. .	14
Obr. 9 - Orientovaný ohodnocený graf VD Mostiště.....	20
Obr. 10 - Dialogové okno - Název soustavy nádrží. ....	22
Obr. 11 - Dialogové okno Nastavení výpočtu.....	22
Obr. 12 - Dialogové okno - Počáteční objemy.....	23
Obr. 13 - Dialogové okno - Maximální a minimální objemy v nádrží.....	23
Obr. 14 - Dialogové okno - Umístění odběrů.....	24
Obr. 15 - Dialogové okno - Maximální a minimální odběry.....	24
Obr. 16 - Dialogové okno - Umístění přítoku.....	25
Obr. 17 - Dialogové okno - Hodnoty přítoků.....	25
Obr. 18 - Dialogové okno - Schematizace soustavy.....	26
Obr. 19 - Dialogové okno - Maximální a minimální průtoky hranami.....	27
Obr. 20 - Dialogové okno - Souřadnice bodů kritériální funkce.....	27
Obr. 21 - Dialogové okno - Finální nastavení.....	28
Obr. 22 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=1).....	30
Obr. 23 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=3).....	31
Obr. 24 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=5).....	32
Obr. 25 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=8).....	33
Obr. 26 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=12).....	34
Obr. 27 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=1).....	35
Obr. 28 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=3).....	36
Obr. 29 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=5).....	37
Obr. 30 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=8).....	38
Obr. 31 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=12).....	39
Obr. 32 - Výsledky pro období (N=1).....	40
Obr. 33 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=3).....	41
Obr. 34 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=5).....	42
Obr. 35 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=8).....	43
Obr. 36 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=12).....	44
Obr. 37 - Průběh kritériální funkce.....	46

## 9. Seznam použitých tabulek

Tab. 1 - Informace VD Mostiště.....	3
Tab. 2 - Hodnoty průměrných měsíčních průtoků [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] ve vybraných letech. ....	13
Tab. 3 - Analýza pro období 1933,1934.....	15
Tab. 4 - Analýza pro období 1972,1973.....	17
Tab. 5 - Analýza pro období 1990,1991.....	19
Tab. 6 - Objemy nádrže. ....	20
Tab. 7 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=1). ....	30
Tab. 8 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=3). ....	31
Tab. 9 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=5). ....	32
Tab. 10 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=8). ....	33
Tab. 11 - Výsledky pro období 1933,1934 (N=12). ....	34
Tab. 12 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=1). ....	35
Tab. 13 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=3). ....	36
Tab. 14 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=5). ....	37
Tab. 15 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=8). ....	38
Tab. 16 - Výsledky pro období 1972,1973 (N=12). ....	39
Tab. 17 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=1). ....	40
Tab. 18 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=3). ....	41
Tab. 19 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=5). ....	42
Tab. 20 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=8). ....	43
Tab. 21 - Výsledky pro období 1990,1991 (N=12). ....	44
Tab. 22 - Hodnoty kritériální funkce .....	46